

Universidad Carlos III de Madrid

Escuela Politécnica Superior



Rediseño de la unidad de dirección para el iCab2.

Proyecto fin de carrera

Ingeniería Industrial

Jesús Martínez Roca

Septiembre 2009

Departamento de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Automática.

Área de Ingeniería de Sistemas y Automática.

Rediseño de la unidad de dirección para el iCab2.

PROYECTO FIN DE CARRERA

INGENIERÍA INDUSTRIAL

Autor: Jesús Martínez Roca

Director: Fernando García Fernández

Universidad Carlos III de Madrid

Escuela Politécnica Superior

Agradecimientos.

*El trabajo del pensamiento
se parece a la perforación de un pozo:
el agua es turbia al principio,
mas luego se clarifica.*

Quiero dedicar este trabajo a mis padres: Juan y Sole. Gracias por vuestro apoyo y ánimos durante la carrera y en el transcurso de mi vida, ha habido momentos buenos y malos y siempre habéis estado ahí. ¡GRACIAS!.

A Irene, gracias por ser así conmigo y, sobre todo, por aparecer en mi vida. ¡GRACIAS!.

A mi familia, por su apoyo y amor. ¡GRACIAS!.

A todos mis amigos ya sean “de toda la vida” o recientes adquisiciones universitarias. Todos los momentos que hemos pasado juntos no se me olvidarán nunca y espero que sigan ampliándose los buenos recuerdos. ¡GRACIAS!.

A José María y Arturo, que me dieron la oportunidad de trabajar en el departamento e iniciar esta andanza. También quiero dar las gracias a Nando, por confiar en mí para realizar este proyecto.

A todos los que hemos trabajado con el iCab: mejor grupo no se podría haber formado.

A Juanma y Pedro, mis mentores estos últimos dos años que sin su amistad y ayuda no hubiese realizado este proyecto. ¡GRACIAS!.

A los técnicos de laboratorio: gracias Fernando y gracias Ángela por vuestra ayuda y por soportar mi desconocimiento.

¡GRACIAS POR TODO!

Índice de Contenidos

Índice de Contenidos

I	INDICE DE FIGURAS.....	IV
II	INDICE DE TABLAS.....	VIII
III	INDICE DE ECUACIONES.....	X
1	Introducción	1
1.1	Descripción del proyecto.....	1
1.2	Objetivos	4
1.3	Interés científico-industrial. Aplicaciones.	4
2	Estado del arte	7
2.1	Cybercars.....	7
2.2	ULTra	8
2.3	Minnesota Guidestar.....	9
2.4	Chauffeur.....	10
2.5	Skyweb Express	10
2.6	RUF	11
2.7	MIMICS.....	12
3	Diseño a nivel de sistema	14
3.1	Descripción general.....	14
3.1.1	Esquema de conjunto y unidades que lo forman.....	14
3.1.2	Modos de funcionamiento de la plataforma	16
3.1.3	Desglose de las unidades	16
3.2	Sistemas electromecánicos	22
3.2.1	Motor Reductor.....	23

3.2.2	Encoder	24
3.2.3	Finales de carrera	24
3.2.4	Montaje del conjunto.....	25
3.3	Diseño e integración del sistema al hueco de la guantera.....	26
3.3.1	Soluciones planteadas:.....	28
4	Sistemas electrónicos embebidos (SEE)	46
4.1	Introducción a los sistemas EDA	46
4.2	SEE pertenecientes al módulo de control	47
4.3	SEE pertenecientes al módulo de potencia.....	68
4.4	Diseño del PCB	92
4.4.1	Introducción al Layout.....	93
4.4.2	Especificaciones de diseño	94
4.4.3	Placa del módulo de control.....	98
4.4.4	Placa del módulo de potencia Layout	100
5	Medidas experimentales y montaje.....	103
5.1	Procedimiento de pruebas de los módulos de control y potencia	103
5.1.1	En el módulo de control	103
5.1.2	En el módulo de potencia.....	107
5.2	Montaje de la tapa de la guantera	114
5.3	Montaje de las placas al disipador	116
6	Conclusiones.....	119
6.1	Trabajos futuros	120
	Bibliografía	123
A.	Libros.....	123
B.	Libros en formato PDF.....	123
C.	PowerPoint.....	125
D.	Recursos de internet	125
E.	Apuntes de asignaturas.....	126
F.	Memorias de trabajos dirigidos, PFC's y tesis de máster	126
	Anexo A: Presupuesto	129
1.	Personal.....	129
2.	Materiales	130
3.	Coste total del proyecto	131
	Anexo B: Esquemático del Módulo de Control.	134



Anexo C: Esquemático del Módulo de Potencia.	136
Anexo E: Plano de Soporte de la Unidad de Dirección.	140
Anexo F: Plano de Modificación de los Conectores de Potencia.	142
Anexo G: Mecanizado y Roscado del disipador.	144
Anexo H: Sistemas de Referencia. Vistas de Representación.	145
Anexo I: Mantenimiento.	147

Índice de Figuras

Figura 1.1 Ezgo Vehículo Original	1
Figura 1.2 Aplicación de la comunicación entre vehículos V2V	3
Figura 1.3 Plataforma iCab. Sensores y comunicaciones.	3
Figura 2.1 Cybercars	8
Figura 2.2 ULTra	9
Figura 2.3 Minnesota Guidestar	9
Figura 2.4 Chauffeur	10
Figura 2.5 Skyweb Express	11
Figura 2.6 RUF	11
Figura 2.7 MIMICS	12
Figura 3.1 Esquema de bloques del conjunto y localización en la plataforma	15
Figura 3.2 Ubicación de las unidades y los tendidos eléctricos	15
Figura 3.3 Modos de funcionamiento del sistema	16
Figura 3.4 Esquema montaje de unidad de comunicaciones	17
Figura 3.5 Ubicación de la unidad de comunicaciones	17
Figura 3.6 Modificaciones de la unidad de tracción	18
Figura 3.7 Esquema mecánico dirección original (Izq). Esquema elementos reutilizados (Der)	19
Figura 3.8 Eliminación del volante	20
Figura 3.9 Unidad de dirección: Módulos	20
Figura 3.10 Módulo de Control: Subsistemas	21
Figura 3.11 Módulo de Potencia: Subsistemas	22
Figura 3.12 Proceso de diseño. Elementos que lo modifican.	23
Figura 3.13 Moto-reductor Parvalux PM60 LWS	23
Figura 3.14 Encoder TKM60	24
Figura 3.15 Finales de carrera	25
Figura 3.16 Montaje del conjunto motor encoder	25
Figura 3.17 Vista frontal habitáculo	26
Figura 3.18 Guanteras en Solid Edge. Vista trimétrica	27
Figura 3.19 Hueco de la guantera en Solid Edge. Vista trimétrica	27
Figura 3.20 Comparativa de tamaños de la guantera y un rack de 19'	28
Figura 3.21 Guanteras y Rack 19' problemas con la altura útil producidos por la guantera	29
Figura 3.22 Montaje con el disipador paralelo a la guantera y las aletas hacia arriba	31

Figura 3.23 Montaje con el disipador perpendicular a la guantera y las aletas en el exterior ...	31
Figura 3.24 Montaje con el disipador paralelo a la guantera y las aletas hacia abajo.....	32
Figura 3.25 Disipador Seradhe 200X150X32	33
Figura 3.26 Disipador Marston 200X200X25	33
Figura 3.27 Disipador Marston en Solid Edge	33
Figura 3.28 Guías deslizantes abiertas y cerradas (Chambrelan FT 051 AGS L150).....	35
Figura 3.29 Boceto de la tapa de la guantera	35
Figura 3.30 Tapa final de la guantera.....	36
Figura 3.31 Tapa unida al elemento deslizante y cierre superior. Vista dimétrica.....	37
Figura 3.32 La tapa unida por una bisagra	37
Figura 3.33 La tapa unida por unos topes inferiores y un cierre superior.....	38
Figura 3.34 Sentido de flujo de aire del ventilador	39
Figura 3.35 Flujo de aire forzado en la guantera	39
Figura 3.36 Todos los ventiladores sobre el elemento deslizante	40
Figura 3.37 Ventiladores inferiores sobre el elemento deslizante	40
Figura 3.38 Vistas de la tapa con todos los elementos del diseño	41
Figura 3.39 Detalle del ángulo de la guantera	42
Figura 3.40 Soporte para la guía	42
Figura 3.41 Soporte único para ambos lados.....	43
Figura 3.42 Montaje completo con soporte. Vista trasera	44
Figura 4.1 Esquemático del módulo de control	48
Figura 4.2 Circuito de alimentación	49
Figura 4.3 Micro controlador PIC18F4550	49
Figura 4.4 Circuito del Microcontrolador.....	50
Figura 4.5 Circuito de programación y depuración.....	52
Figura 4.6 Unidad de comunicaciones con el PC.....	53
Figura 4.7 Comunicaciones con la unidad de tracción. Envío	54
Figura 4.8 Comunicaciones con la unidad de tracción. Recepción	54
Figura 4.9 Comunicaciones con el submódulo de joystick.....	55
Figura 4.10 Control de estado del sistema.....	55
Figura 4.11 Control de temperatura	56
Figura 4.12 Características ULN2803 (Array de transistores Darlington)	56
Figura 4.13 Características Traco Ten5 4812	57
Figura 4.14 Características de los ventiladores de 12 [V] de Maglev	57

Figura 4.15 Características de los ventiladores de la compañía S-force para 48 [V]	58
Figura 4.16 Propiedades ventilador Sunon KDE2404PKV2.MS.A.GN.....	58
Figura 4.17 Conector RJ45. Mono puerto	59
Figura 4.18 Conector AMP con un espaciado de 2,54 [mm].....	60
Figura 4.19 SUBD 9 posiciones	61
Figura 4.20 Header 5x2	63
Figura 4.21 Conector DB25	66
Figura 4.22 Esquemático del módulo de potencia.....	68
Figura 4.23 Lógica de control	71
Figura 4.24 Tiempo muerto teórico	73
Figura 4.25 Puente en H.....	74
Figura 4.26 Esquemático de zonas de mosfet montado sobre disipador	77
Figura 4.27 R_{DSon} frente a T_J para el mosfet IRFIZ44N.....	78
Figura 4.28 Calculo de resistencias y corrientes. Movimiento en sentido horario.....	79
Figura 4.29 Divisor de corrientes semiciclo positivo.....	80
Figura 4.30 Elemento de cálculo de la rama 1	81
Figura 4.31 Representación de los tiempos de conmutación para el transistor IRFZ44N	81
Figura 4.32 Resistencias térmicas del TO220 al ambiente a través del disipador	84
Figura 4.33 Esquema de resistencias térmicas completo	85
Figura 4.34 $R\theta_{sa}$ en función de T_a	87
Figura 4.35 Efecto de las no idealidades sobre la transferencia de calor	88
Figura 4.36 Conectores Tyco 556879-2 (izquierda) 556881-2 (derecha).....	89
Figura 4.37 Detalle del conector a la placa de potencia	90
Figura 4.38 Conector J2 modificado.....	90
Figura 4.39 Conector aéreo J2 modificado	91
Figura 4.40 Conectores de potencia	91
Figura 4.41 Señales del conector J2. Conector de potencia	91
Figura 4.42 Perfil de una placa monocapa.....	92
Figura 4.43 Perfil de una placa bicapa	93
Figura 4.44 Encapsulado del transistor TO220 para el IRFIZ44N	97
Figura 4.45 Selección de cables.....	98
Figura 4.46 Placa del módulo de control Layout final. Capa TOP	99
Figura 4.47 Placa del módulo de control Layout final. Capa BOTTOM	99
Figura 4.48 Placa del módulo de potencia Layout final. Capa TOP.....	100

Figura 4.49 Placa del módulo de potencia Layout final. Capa BOTTOM.....	100
Figura 4.50 Placa del módulo de potencia Layout final. Taladros.....	101
Figura 5.1 TC1411N Patillaje y circuito de montaje	106
Figura 5.2 Adaptador de niveles TTL-Cmos.....	106
Figura 5.3 Simulador Módulo de Potencia.....	107
Figura 5.4 Fase de pruebas del módulo de potencia	108
Figura 5.5 Fase de pruebas. Puente en H en reposo.....	110
Figura 5.6 Fase de pruebas. Puente en H en movimiento horario	111
Figura 5.7 Sentido horario Ciclo de trabajo del 20 %.....	112
Figura 5.8 Fase de pruebas. Movimiento del puente en sentido antihorario	113
Figura 5.9 Integración de la tapa al hueco	114
Figura 5.10 Cierre de la tapa	115
Figura 5.11 Vista frontal de la tapa	115
Figura 5.12 Vista posterior de la tapa	116
Figura 5.13 Unidad de dirección montada sobre el disipador	117
Figura 5.14 Montaje final extendido en la guantera.....	117
Figura 5.15 Montaje final recogido en la guantera.....	118

Índice de Tablas

Tabla 1 Características Moto-reductor Parvalux PM60 LWS	23
Tabla 2 Características encoder TKM60.....	24
Tabla 3 Características de los finales de carrea	25
Tabla 4 Características térmicas para disipadores individuales para encapsulados TO220	30
Tabla 5 Distintas opciones de disipación	33
Tabla 6 Características disipador Marston 150CN-02000-A-200	34
Tabla 7 Características guías telescópicas Chambrelan FT 051 AGS L150	34
Tabla 8 Características micro controlador PIC18F4550	50
Tabla 9 Descripción de las señales del microcontrolador	52
Tabla 10 Características MAX1480B.....	53
Tabla 11 Equivalencia entre indicadores y señales de excitación.....	56
Tabla 12 Señales del conector J1. Conector de programación/depuración	60
Tabla 13 Señales del conector J2. Conector de comunicaciones con el PC	61
Tabla 14 Conexión del cable del conector J2 al módulo de comunicaciones	62
Tabla 15 Señales del conector J3. Conector de comunicaciones con el joystick	62
Tabla 16 Señales del conector J4. Conector del circuito de sensado.....	63
Tabla 17 Señales del conector J5. Conector de comunicaciones con el módulo de potencia....	64
Tabla 18 Señales del conector J6. Conector de comunicación con la tracción.....	64
Tabla 19 Señales del conector J7. Control del estado del sistema (LED's).....	65
Tabla 20 Señales del conector J8. Control de ventiladores 1 y 3	65
Tabla 21 Señales del conector J9. Control de ventiladores 2 y 4	65
Tabla 22 Señales del conector J10. Circuito de control del freno.....	66
Tabla 23 Señales del conector P1. Circuito del encoder	67
Tabla 24 Funcionamiento de una puerta nand de 3 entradas.....	70
Tabla 25 Características MIC14023BCP.....	70
Tabla 26 Características Hip4082	72
Tabla 27 Características tiempo muerto conmutación del HIP4082	73
Tabla 28 Características Mosfet IRFIZ44N.....	77
Tabla 29 Resumen de propiedades de funcionamiento para el mosfet	80
Tabla 30 Tiempos de conmutación para el transistorIRFIZ44N	81
Tabla 31 Análisis pérdidas en conmutación.....	82
Tabla 32 Análisis sensibilidad pérdidas en conducción.....	82

Tabla 33 Resumen de potencia disipada por la rama 14. Movimiento Horario.	83
Tabla 34 Resumen de potencia disipada por la rama 23. Movimiento Antihorario.	83
Tabla 35 Significado de las temperaturas en el esquema de resistencias térmicas	84
Tabla 36 Resumen de resistencias térmicas implicadas en la transferencia de calor	85
Tabla 37 Características de diseño en relación a la temperatura de operación.....	86
Tabla 38 Señales del conector J5. Conector de comunicaciones con el módulo de potencia....	89
Tabla 39 Características de diseño de las pistas	95
Tabla 40 Constantes para el cálculo del ancho de pista	96
Tabla 41 Ancho de Pista [mils] vs Variación de Temperatura [°C].....	96
Tabla 42 Características TC1411N.....	106
Tabla 43 Señales del conector de la tapa para extracción rápida.....	116

Índice de Ecuaciones

Ecuación 1 Resistencias térmicas para el sistema TO220 ambiente.....	84
Ecuación 2 Temperatura entre unión y ambiente	85
Ecuación 3 $R\theta_{sa}$ en función de T_a	86
Ecuación 4 Ancho en función del área y la longitud	95
Ecuación 5 Área en función del ΔT y de las constantes	95
Ecuación 6 Ancho en función del ΔT y de las constantes.....	95

Capítulo 1:

Introducción.

1 Introducción

1.1 Descripción del proyecto

El **iCab (Intelligent Car Automobile)** surge de un **vehículo eléctrico de transporte** al cual se le han realizado **modificaciones hardware y software** para el **control automático** de la plataforma (a través de un ordenador) o **manual** (por medio de un joystick y pedales).

El vehículo eléctrico utilizado como plataforma es un carro de golf de flota de la compañía Ezgo.

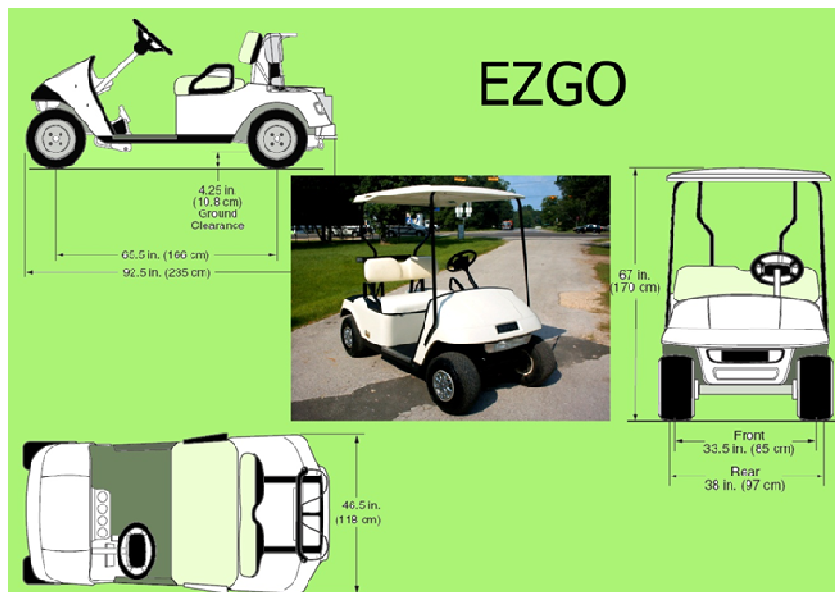


Figura 1.1 Ezgo Vehículo Original

Este proyecto de **I+D+I¹** pertenece a una de las líneas de investigación **del Laboratorio de Sistemas Inteligentes (LSI)** de la Universidad Carlos III de Madrid (**UC3M**) e involucra a personas que desarrollan e investigan en busca de la mejora del sistema en su conjunto.

El proyecto iCab surge con la primera plataforma (iCab1) y la evolución, para futuras líneas de investigación, es la creación de la segunda plataforma (iCab2). Es en este momento cuando surge el iCab2 y, con él, este proyecto. La plataforma será la misma, a efectos prácticos denominándola iCab; no obstante, se nombrará como iCab1 o iCab2 cuando se necesite hacer mención a la plataforma que recientemente se está fabricando o a la que ya está funcionando.

Las **plataformas iCab integran** un conjunto de **elementos que les permiten interactuar y conocer el entorno**. Estos sistemas que se le integran son: **un láser, un sistema de visión estereoscópica y un sistema GPS con sensores inerciales**. Este conjunto de soluciones tecnológicas, diseñadas para mejorar la operación y seguridad del transporte terrestre, sitúan a las plataformas iCab en el concepto de **Sistema Inteligente de Transporte (SIT)**.

El **objetivo principal de los SIT's** es, haciendo uso de las nuevas tecnologías, la **intensificación de los transportes y el control del mismo** con la aparición de nuevas formas de información sobre simulación, control en tiempo real y redes de comunicación. El **interés** de los SIT **proviene** de los **problemas causados por la congestión del tráfico** y sus aplicaciones pueden ser: el cobro electrónico de peajes, la gestión de tarifas de congestión en carreteras de acceso a las ciudades o la vigilancia automática de infracciones (velocidad y semáforos).

Entre las plataformas iCab se establecerá un **sistema de comunicaciones sin cables (wireless)**:

- **Entre vehículos** mediante un sistema **V2V (Vehicle to Vehicle)**.
- **Con una estación terrestre** a través un sistema **V2I (Vehicle to Infraestructure)**.

Los **sistemas V2V y V2I** tienen como **objetivo aumentar la seguridad en la carretera** y que los **conductores cuenten con información suficiente acerca de lo que ocurre a su alrededor**, facilitando su reacción ante cualquier peligro. Se presentan como **indicaciones sonoras o luminosas** como se puede ver a continuación:

¹ I+D+I significan Investigación + Desarrollo + Innovación tecnológica

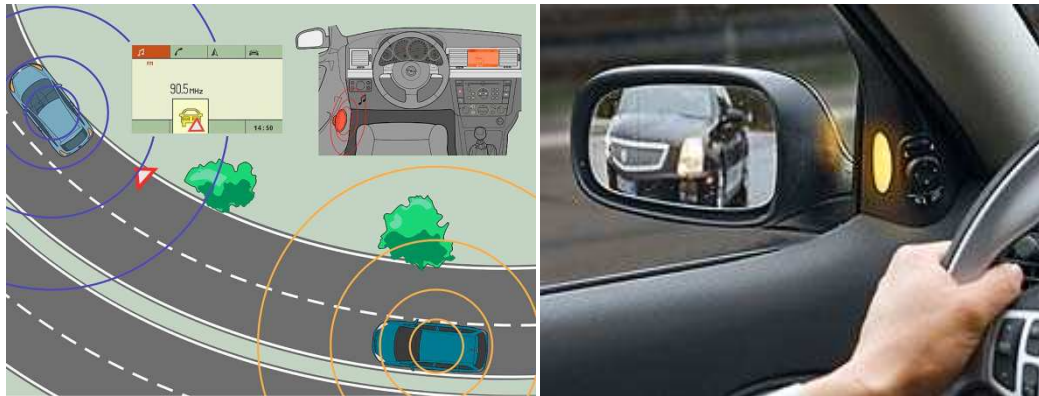


Figura 1.2 Aplicación de la comunicación entre vehículos V2V

A modo de resumen se pueden observar en la siguiente figura los sensores de que dispone cualquier plataforma iCab, los sistemas que la forman y su clasificación como sistema de transporte:



Figura 1.3 Plataforma iCab. Sensores y comunicaciones.

1.2 Objetivos

La **electrónica del iCab1** fue diseñada de tal forma que fuera **fácil de probar y testear**. Para el **iCab2** se partirá de muchas de las soluciones empleadas en el iCab1, las cuales se ha comprobando que funcionan, modificándolas y adecuándolas a las peculiaridades del **diseño modular** propuesto para este proyecto.

En consecuencia los **objetivos primordiales** para este proyecto son **aumentar la fiabilidad del sistema sin menospreciar la seguridad** (que se considera crítica por ser una plataforma que transportará personas).

Se van a introducir **mejoras a nivel hardware**:

- **Mejorar deficiencias en el diseño** y subsanar errores.
- **Aumentar la funcionalidad**.
- Realizar un **rediseño fijando la modularidad de los componentes** y permitir una fácil sustitución por otros.

Este proyecto de fin de carrera (PFC) tiene como objetivo:

- La **integración modular** de todo el sistema **de la dirección del iCab2** en la guantera.
- **Rediseño del hardware** con las premisas comentadas anteriormente, partiendo de un diseño funcional y probado.
- **Montaje de los módulos de control y potencia** (se hablará de ellos en 3.1.33 Unidad de dirección).
- Fabricar tres (3) unidades del módulo de potencia y comprobar su funcionamiento.

1.3 Interés científico-industrial. Aplicaciones.

La plataforma tiene un gran potencial y ofrece vías distintas para la investigación dentro del campo de los sistemas inteligentes.

Una de las **peculiaridades de esta unidad** (al estar provista de sensores, acelerómetros y un sistema de posicionamiento global) es la posibilidad de **adecuarse no solo a movimientos por el entorno** sino que podría llegar a **interactuar con él**.

Una de las **aplicaciones de esta plataforma** es realizar actividades **de transporte de mercancías y personas en entornos urbanos de una manera autónoma**. Un ejemplo muy simple para ver el salto cualitativo que podría ofrecer el iCab es compararlo con un tren automatizado que transporta pasajeros sin conductor. Éste es capaz de desempeñar una tarea autónoma pero reducida, ya que se limita a las vías que están implementadas como su recorrido. En cambio, el iCab podría ser capaz de interactuar con el entorno por medio de los sistemas de detección y a través del posicionamiento con el GPS, **pudiendo evaluar y diseñar rutas “libres” sin carriles prefijados con el beneficio económico que introduce el concepto de “no hay vías preconcebidas”**.

Una unidad funcional y operativa que fuera capaz de desempeñar estas funciones podría ser un medio de transporte “revolucionario”.

Capítulo 2:



Estado del Arte.

2 Estado del arte

Dentro del grupo de Sistemas Inteligentes de Transporte (SIT) se van a mencionar algunos de los SIT's más conocidos de forma esquemática diferenciando en los siguientes puntos:

- Plataforma
- Comportamiento
- Sensores
- Redes
- Otros datos de interés

2.1 Cybercars

Detrás de Cybercars aparece el consorcio Europeo INRIA² y el desarrollo está especialmente dirigido al transporte de personas (CyberCars, 2009).

² INRIA (Instituto Nacional de Investigación en Informática y Automática) es un centro de investigación francés especializado en Ciencias de la Computación, teoría del control y matemáticas aplicadas. Es un establecimiento público de investigación en ciencia y tecnología bajo la supervisión de los ministerios franceses de Investigación y de Economía, Finanzas e Industria.

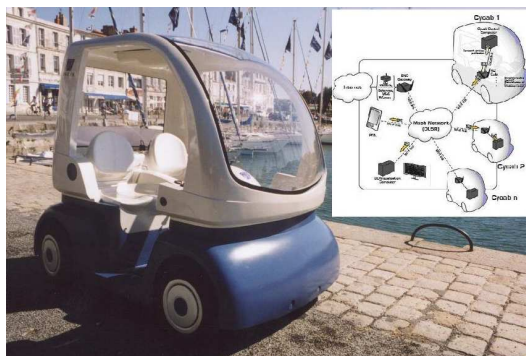


Figura 2.1 Cybercars

- **Plataforma:** es el primer desarrollo mundial de SIT basados en automóviles eléctricos.
- **Comportamiento:** su desarrollo se basa en un comportamiento autónomo capaz de calcular rutas On-line.
- **Sensores:** Inicialmente se comenzó utilizando balizas inductivas y Laser [Ollivier y Parent, 2002], con posterioridad se introdujo la visión estereoscópica 3D, [Royer, Dhome, y Lhullier, 2002] [Simond, 2007], Laser, sensores ultrasónicos, GPS y DGPS.
- **Redes:** El desarrollo contempla que pueda existir una red principal que comunique con todos los vehículos y que además puedan comunicarse entre ellos para compartir información.
- **Otros datos de interés:** Dispone de simulador [Mehani y Benenson, 2007] [Bouraoui y Petti, 2008] Boisse y Beneneson, 2007].

2.2 ULTra

Desarrollado por la Universidad de Bristol y la empresa ATS (Ultra, 2009).

- **Plataforma:** La propulsión se realiza con motor eléctrico y ruedas de goma que aminoran el ruido de rodadura.
- **Comportamiento:** Su comportamiento está basado en el cálculo de rutas en modo Off-Line, antes de comenzar el desplazamiento.
- **Sensores:** El sistema está basado en el guiado por carril y balizas inductivas.
- **Redes:** Una estación central establece la ruta y se la envía al vehículo para que la siga.
- **Otros datos de interés:** Esta implementado en el aeropuerto de Londres [Heathrow] y Cardiff.



Figura 2.2 ULTra

2.3 Minnesota Guidestar

Se trata de un programa estatal desarrollado por la Universidad de Minnesota (Guidestar, 2009)



Figura 2.3 Minnesota Guidestar

- **Plataforma:** Las pruebas se realizan en vehículos de motor térmico.
- **Comportamiento:** Se trata de un sistema que conoce la ruta a seguir y ayuda al conductor.
- **Sensores:** Entre otros dispone de balizas inductivas y detectores de colisión.
- **Redes:** Dispone de una red central que comunica con todos los vehículos y una red en cada vehículo para comunicarse con los que se encuentren próximos.
- **Otros datos de interés:** El concepto novedoso es que la información está en la carretera, además puede comunicarse con otros sistemas como por ejemplo el pago de peajes.

2.4 Chauffeur

Es un desarrollo en el que están participando entre otros DaimlerChrysler AG (Alemania), Centro Ricerche Fiat S.C.p.A. (Italia), IVECO (Italia) o Robert Bosch GmbH (Alemania) [CORDIS, 2009].



Figura 2.4 Chauffeur

- **Plataforma:** Se han realizado pruebas con dos vehículos de motor térmico (camiones).
- **Comportamiento:** Una persona conduce el primer vehículo del Convoy (vehículo guía) y el resto le sigue.
- **Sensores:** Está basado en sistemas de visión y radar.
- **Redes:** No utiliza comunicaciones.
- **Otros datos de interés:** Está diseñado para guiar un convoy con un único conductor, no en vano la traducción de chauffeur es conductor.

2.5 Skyweb Express

Creado por la compañía Taxi 2000. El diseño del vehículo se realizó para un único usuario [Taxi2000, 2009].



Figura 2.5 Skyweb Express

- **Plataforma:** Vehículo eléctrico monorraíl.
- **Comportamiento:** Se trata de un comportamiento programado. Se calcula el camino en modo Off-Line antes de comenzar el desplazamiento.
- **Sensores:** Los principales sensores están integrados en el raíl.
- **Redes:** Dispone de una red central que comunica con todos los vehículos. También existe comunicación entre vehículos que se encuentren próximos.
- **Otros datos de interés:** Dispone de un simulador Trackedit que permite el cálculo de rutas, dimensionado de la red, consumos, etc. Otro sistema similar fue SporTaxi (Suecia) que se intento instalar en aeropuerto cercano a Oslo.

2.6 RUF

El concepto de RUF (Rapid Urban Flexible) fue inventado y desarrollado por Palle Jensen en Dinamarca.



Figura 2.6 RUF

- **Plataforma:** Son vehículos con motor eléctrico y pequeñas baterías, que se cargan mientras transitan por el raíl, también pueden ser vehículos híbridos.
- **Comportamiento:** Dispone de dos modos de funcionamiento, circulando por carreteras convencionales y guiado por carril.
- **Sensores:** Comunicación en el carril.
- **Redes:** Dispone de una red central que comunica con todos los vehículos.

- **Otros datos de interés:** Dispone de simulador y diseños para ser utilizados en sistemas de monorraíl elevados.

2.7 MIMICS

Ideado por la Universidad de Murcia en colaboración con la Universidad Politécnica de Valencia y el Ministerio de Fomento [Úbeda y Martínez, 2001].



Figura 2.7 MIMICS

- **Plataforma:** Pruebas realizadas en un vehículo de motor térmico.
- **Comportamiento:** Control inteligente y apoyo a la conducción.
- **Sensores:** Utiliza el GPS EGNOS y Radar frontal. Evita obstáculos.
- **Redes:** En cada vehículo para comunicarse entre ellos.
- **Otros datos de interés:** Esta pensado principalmente para uso en convoy.



Capítulo 3:

Diseño a Nivel de Sistema.

3 Diseño a nivel de sistema

3.1 Descripción general

La plataforma está formada por unidades que se comunican para conseguir el objetivo común de controlar con total seguridad el vehículo.

3.1.1 Esquema de conjunto y unidades que lo forman

El iCab está formado por tres unidades:

- a) **Unidad de tracción**: es la encargada del **control del movimiento de las ruedas motrices** del vehículo.
- b) **Unidad de dirección**: es la encargada **del control de la posición de las ruedas directrices**. A este sistema se le atribuye el subsistema de joystick que controla la dirección en modo manual.
- c) **Unidad de comunicación**: es la **interfaz** encargada de **comunicar las unidades de dirección y tracción con el PC**.

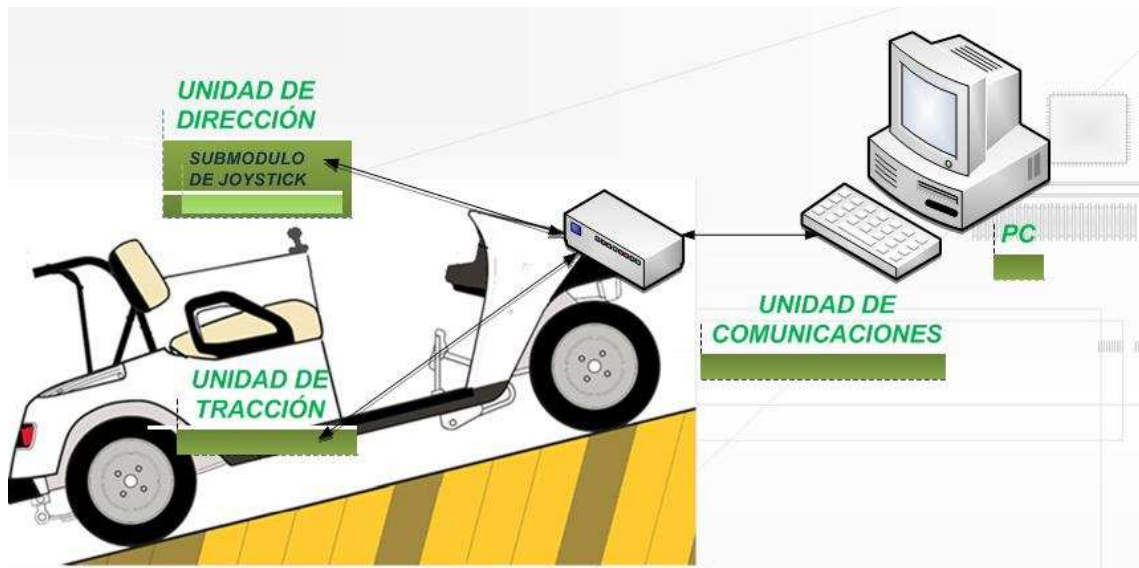


Figura 3.1 Esquema de bloques del conjunto y localización en la plataforma

Se presenta a continuación **la ubicación de las unidades en la plataforma** original y como se realizan los tendidos eléctricos:

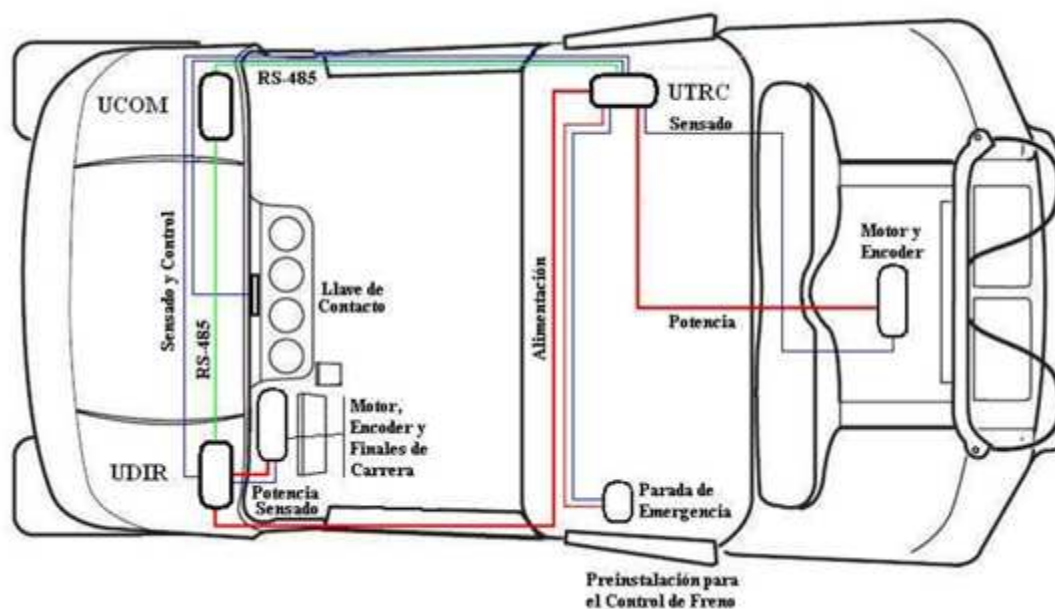


Figura 3.2 Ubicación de las unidades y los tendidos eléctricos

3.1.2 Modos de funcionamiento de la plataforma

El sistema dispone de dos modos de funcionamiento que se pueden intercambiar cuando la plataforma está apagada.

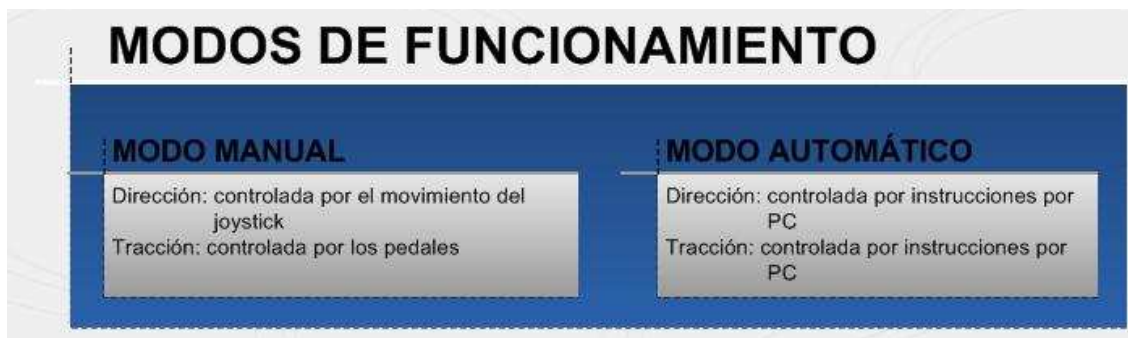


Figura 3.3 Modos de funcionamiento del sistema

- a) **Automático:** es **gobernado por el PC** a través del envío de información a la unidad de comunicación y ésta, a su vez, a las otras dos unidades.

El PC de control **envía la velocidad y aceleración** de consigna del **vehículo a la unidad de tracción** y el **ángulo y la velocidad de giro de las ruedas directrices a la unidad de dirección**.

El PC actúa con un nivel de abstracción mayor que la plataforma, puesto que es el encargado de generar la ruta a través de los sensores y posicionadores de que dispone.

Este modo es el que permite futuras líneas de investigación relacionadas con el control de la plataforma (SIT, V2V y V2I).

- b) **Manual:** lo manejan **los pedales originales de la plataforma** (para el **movimiento longitudinal**) y un **joystick** que manda la señal de **posición a la unidad de dirección** para controlar el giro de las ruedas directrices.

En este modo **la conducción la realiza un operador** y el uso de este modo está claramente indicado en las **etapas de desarrollo, depuración y diseño**.

3.1.3 Desglose de las unidades

Se va a describir las peculiaridades de diseño de las distintas unidades

1. Unidad de Comunicaciones

La **unidad de comunicaciones** presentaba **problemas potenciales de ruido**. En el sistema se dispone de **motores** que generan ruido al **accionarlos con señales moduladas por ancho de pulso (PWM)**.

Como se disponía de dos comunicaciones RS-485 (una por cada módulo) se optó por la adquisición de una **interfaz de RS-485 (2) a USB para facilitar el conexionado con el PC**. Se seleccionó RS-485 en lugar del RS-232 ya que se utiliza una transmisión diferencial que es más inmune al ruido.



Figura 3.4 Esquema montaje de unidad de comunicaciones

La **unidad de comunicaciones se ubica en la guantera derecha**, el tendido de los cables de comunicaciones se realiza como se apreció en la Figura 3.2, para evitar en mayor medida las interferencias que provengan de la alimentación de las unidades y de las alimentaciones de los motores.



Figura 3.5 Ubicación de la unidad de comunicaciones

2. Unidad de tracción

La **unidad de tracción** ha introducido **cambios mecánicos en la plataforma original** y ha necesitado del **diseño hardware** para el control de la tracción y poder establecer las **comunicaciones** con las otras unidades.

El **motor** original desarrolla una **potencia de 1900 [W]** a 2700 [rpm] y su **tensión nominal** es de **36 [V]³**. El motor es del tipo de excitación independiente y esta acoplado a una reductora con diferencial y desmultiplicador de 12,44:1. La cadena de transmisión envía el movimiento a los neumáticos traseros de 13 pulgadas.

El sistema presentaba un encoder de 4 pulsos por vuelta y el lazo de control era abierto, por lo cual **se ha sustituido el encoder por uno de mayor resolución** y se ha **realimentado el sistema para poder controlar la aceleración, velocidad y posición del motor y de la plataforma**.

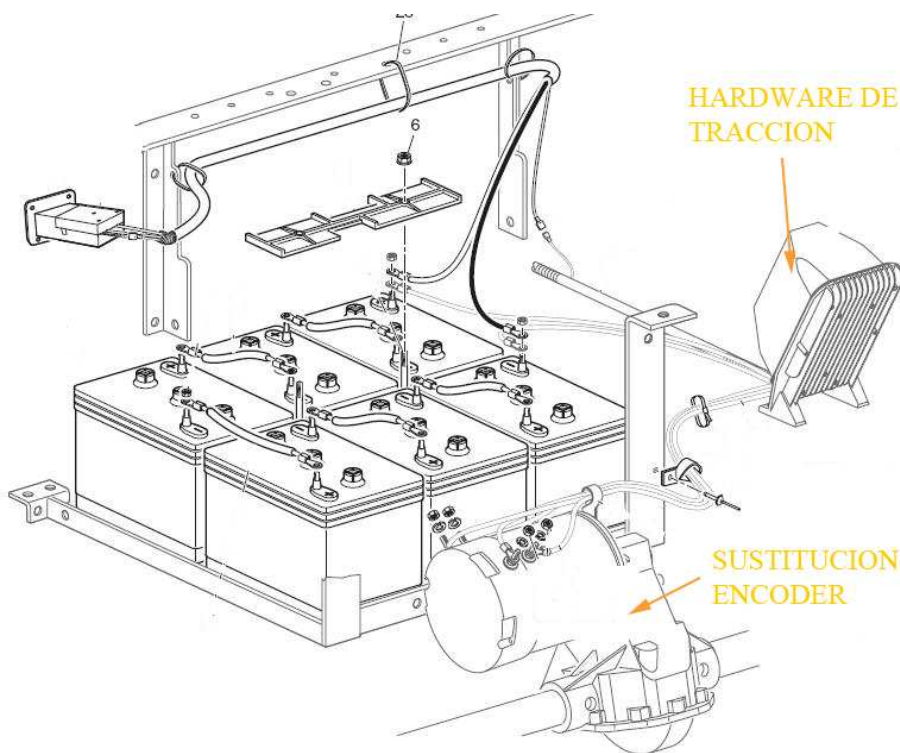


Figura 3.6 Modificaciones de la unidad de tracción

³ El sistema de almacenamiento de energía está formado por 6 baterías de 6[V] montadas en serie (las cuales son capaces de almacenar una carga de 225 [Ah]) que proporcionan una tensión de alimentación de 36 [V].

3. Unidad de dirección

La **dirección original** del vehículo era **completamente mecánica** y se controlaba a través de un **volante**, la barra de dirección, la cruceta y una cremallera de tres vueltas y media. El conjunto era el que producía el giro en las ruedas delanteras de 13 pulgadas.

Fue necesario **eliminar el volante** para controlar la dirección y el **diseño del hardware**, **incorporación** de un **motor, encoder** y del **diseño de la mecánica que lo acopla a la mecánica original** que se ha mantenido. La mecánica original que se ha aprovechado del vehículo se puede ver en la Figura 3.7 mientras que el montaje original es el que aparece en la parte izquierda de la misma figura.

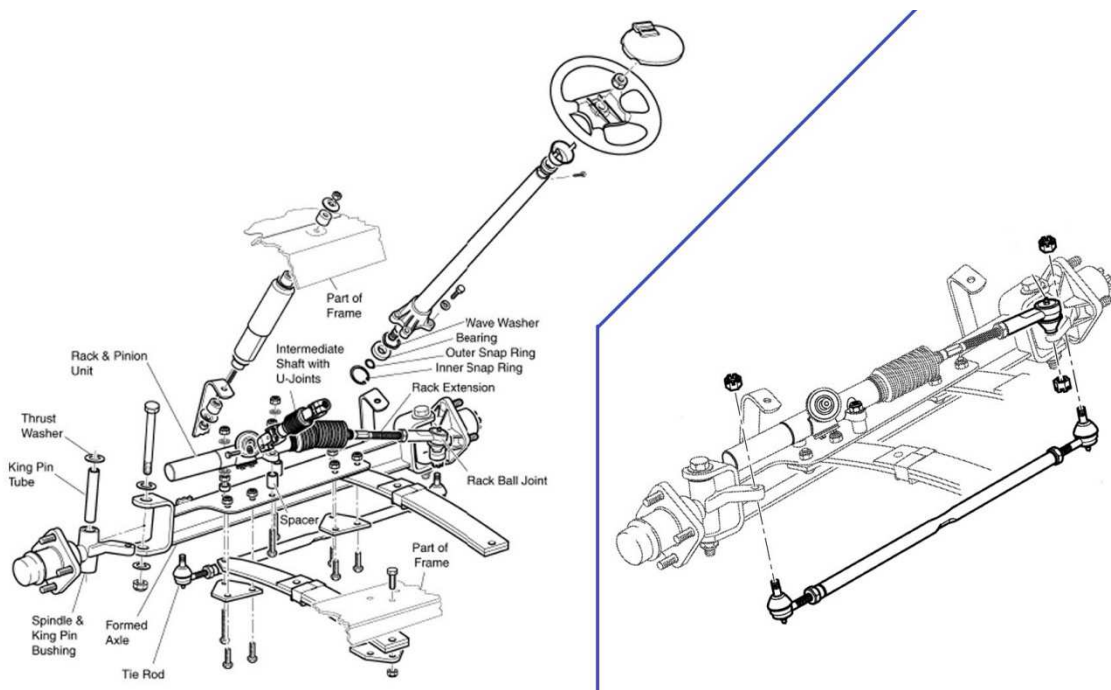


Figura 3.7 Esquema mecánico dirección original (Izq). Esquema elementos reutilizados (Der)

El conjunto electromecánico (que se puede observar en el apartado 3.2.4 Montaje del conjunto) de la dirección se realizó sobre los mismos anclajes del volante original. En la figura siguiente se puede observar el conjunto electromecánico y su ubicación en el vehículo.

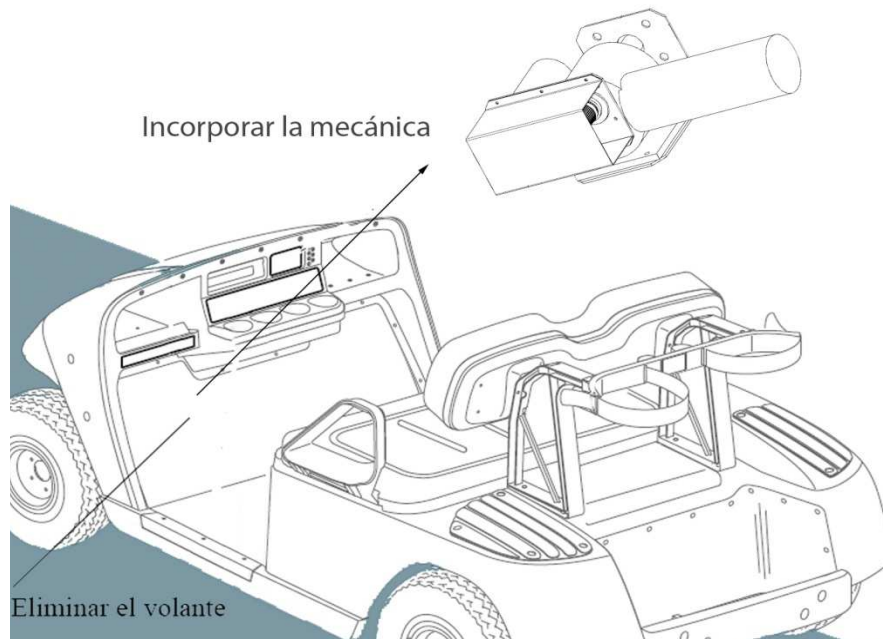


Figura 3.8 Eliminación del volante

La **unidad de dirección** de la plataforma iCab está **compuesta por 2 módulos**:



Figura 3.9 Unidad de dirección: Módulos

Modulo de control: Es el encargado de gestionar las **comunicaciones con la unidad de tracción, con el PC y generar las señales de control** para el **modulo de potencia**.

El módulo de control **se divide en subsistemas** (o circuitos) para poder definir mejor las peculiaridades de los mismos y, con ello, las del módulo. A continuación se dividirá el módulo de control en los subsistemas que lo forman:

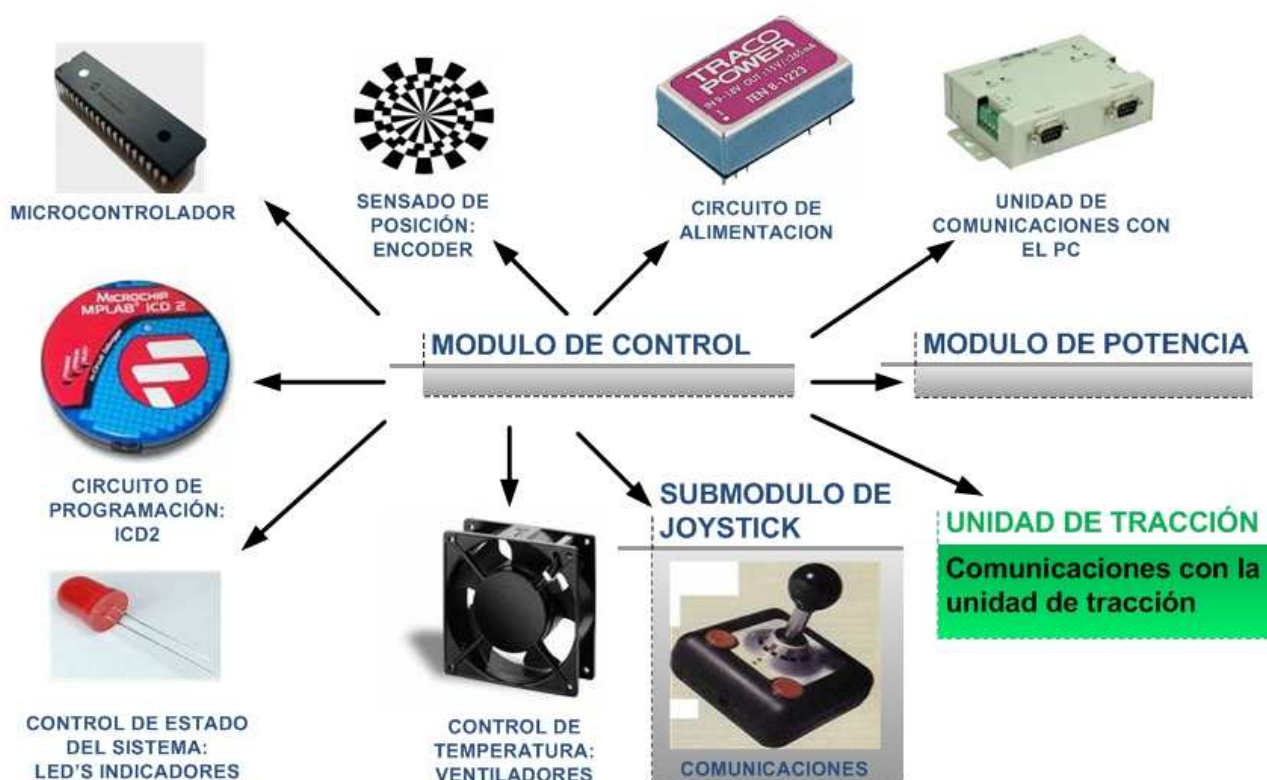


Figura 3.10 Módulo de Control: Subsistemas

Módulo de potencia: Es el encargado de **procesar las señales** que le llegan del **módulo de potencia** y **compararlas** con las señales que envían los **finales de carrera** mecánicos para gestionar el movimiento del motor.

Del mismo modo **el módulo de potencia se divide en los siguientes subsistemas:**

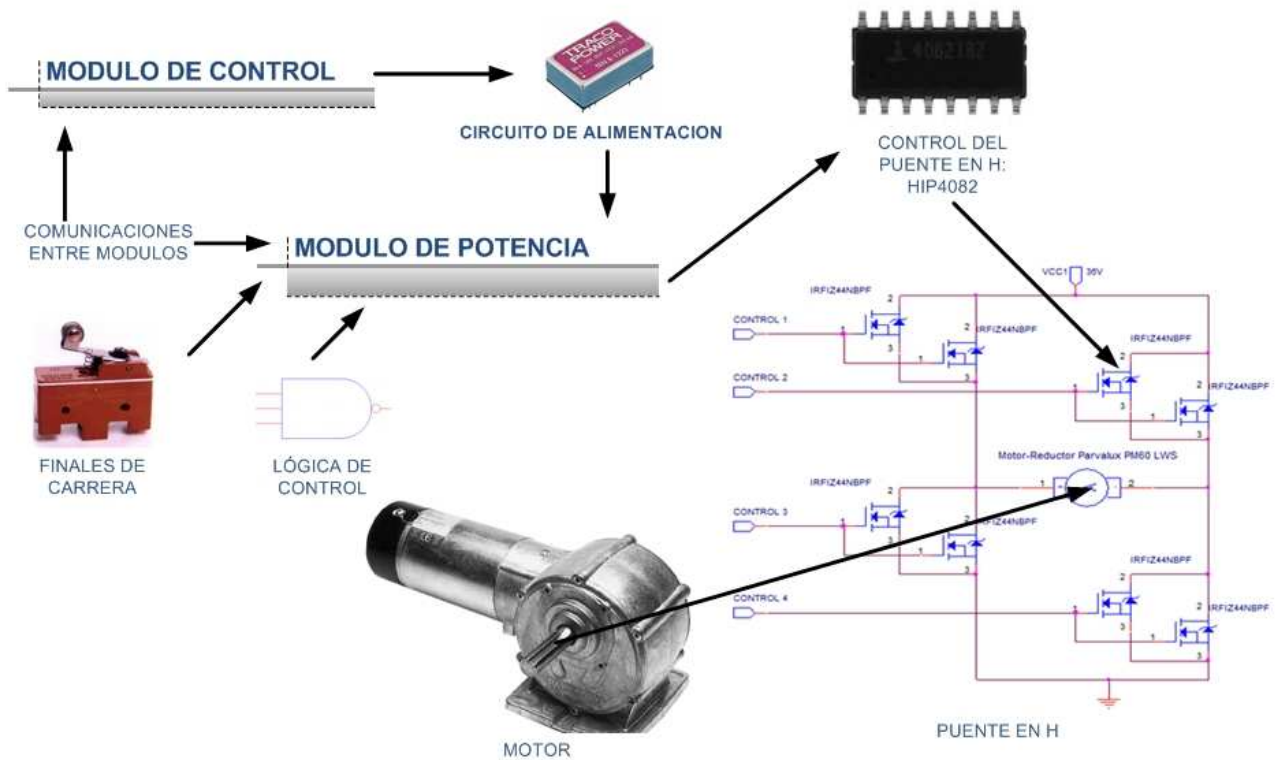


Figura 3.11 Módulo de Potencia: Subsistemas

3.2 Sistemas electromecánicos

El proceso de diseño se desarrolló con un **planteamiento iterativo**.

Los elementos que forman estos sistemas electromecánicos no son independientes entre sí. **La elección de un elemento u otro añade peculiaridades en el diseño** que son necesario comprobar cuando se ha realizado una selección, ya que han podido influirse de tal forma que un planteamiento inicial valido ya no lo sea. Es por eso que en esta metodología **se parte de un modelo (prototipo)** y se va **modificando de acuerdo a las características** de los elementos que le modifican y de las elecciones que se toman sobre ellos.

Este **proceso iterativo** se **realizó hasta que el prototipo cumplieran con las necesidades de todos los elementos** que se consideraron en el diseño; estos elementos son los que se observan en la figura siguiente:

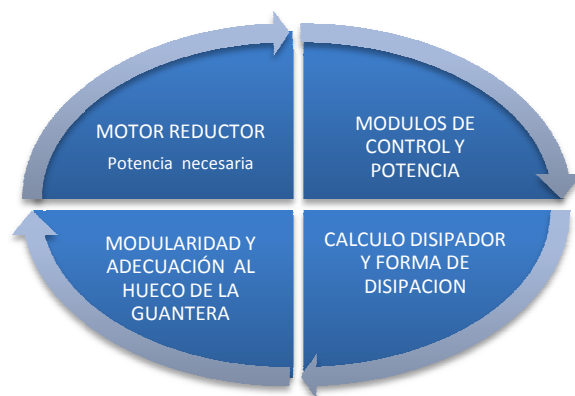


Figura 3.12 Proceso de diseño. Elementos que lo modifican.

3.2.1 Motor Reductor

El movimiento es generado por un **moto-reductor Parvalux PM60 LWS** que **consume 210 [W]** y entrega a la salida de su reductora un par de 20 [Nm] con una velocidad de 60 [rpm].

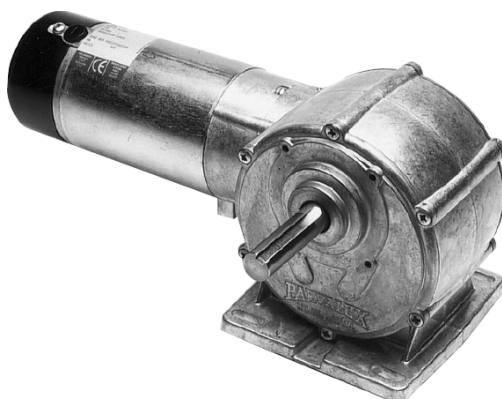


Figura 3.13 Moto-reductor Parvalux PM60 LWS

Potencia	210 [W]
Par	20 [Nm]
Velocidad	60 [rpm]
Tensión de alimentación	36[V]
Peso	8,5 [Kg]

Tabla 1 Características Moto-reductor Parvalux PM60 LWS

3.2.2 Encoder

Se trata de un **encoder absoluto Tekel TKM60.S.1024.4.B.5.K4.6.PL20.22.S200.E**.

El encoder es capaz de discriminar hasta **cuatro (4) vueltas**, que es el rango de operación, y resuelve con **1024 cuentas por vuelta**.

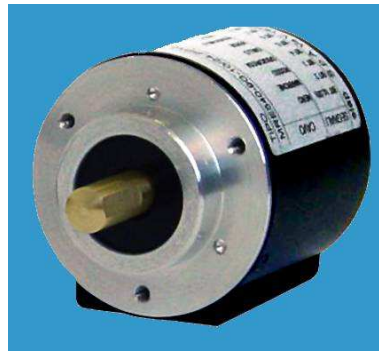


Figura 3.14 Encoder TKM60

Tipo	Absoluto
Bits por vuelta	1024
Numero de vueltas	4
Tensión de alimentación	5[V]
Resistencia de Pull-Up	4,7[KΩ]

Tabla 2 Características encoder TKM60

3.2.3 Finales de carrera

Los finales de carrera se presentan en el diseño como un **elemento de seguridad para la mecánica del vehículo**. Su función es **limitar el control electrónico de movimiento** del motor entre los márgenes mecánicos de la plataforma y evitar deterioros mecánicos y eléctricos de los componentes del sistema.



Figura 3.15 Finales de carrera

Tensión de alimentación	12 [V]
Resistencia de Pull-Up	4,7 [KΩ]

Tabla 3 Características de los finales de carrea

3.2.4 Montaje del conjunto

El esquema en el que **se acoplan el motor y el encoder sobre la cremallera** se puede ver en la figura siguiente, así como los finales de carrera.

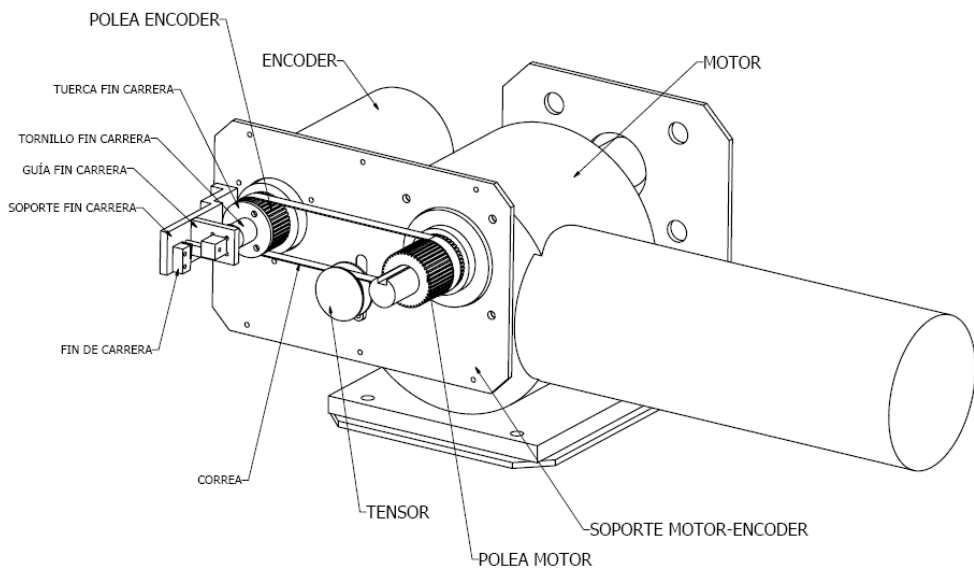


Figura 3.16 Montaje del conjunto motor encoder

En la figura anterior se observan las ruedas dentadas y la correa, que se disponen como los elementos que generan un movimiento solidario entre el motor, el encoder y los finales de carrera.

Este montaje fue desarrollado para el iCab1 y se considera **común para todas las plataformas iCab**, lo cual conlleva que el motor, el encoder y el montaje del conjunto son los mismos.

3.3 Diseño e integración del sistema al hueco de la guantera

El **lugar** en el que se **ubica** la **electrónica de la unidad de dirección** es en la **guantera izquierda** del vehículo. Esta se puede ver en la siguiente figura:

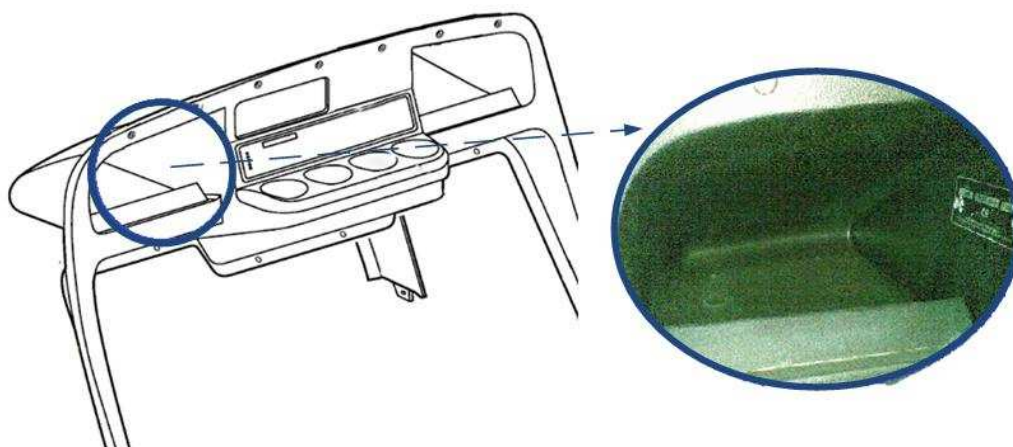


Figura 3.17 Vista frontal habitáculo

De la anterior figura se puede observar que la **guantera presenta unas formas complejas** que introducen dificultades en el proceso de diseño e integración de la unidad de dirección a la misma.

Con el fin de obtener un mayor volumen útil para la integración de la unidad de dirección, a la guantera se le eliminó el tope que se observa en la figura anterior (debajo de la chapa de referencia del vehículo).

Durante el proceso de diseño e integración se actuó de la siguiente forma:

- Se tomaron medidas del compartimento** y, con el conocimiento de las medidas de los distintos elementos a integrar, se realizó una **aproximación tosca de la solución final sobre papel**.
- Se realizaron unos **modelos** de los mismos **en cartón** y **se comprobó que el tamaño del montaje** de los elementos no excedía el espacio dedicado para la unidad de dirección.

- c) Con la aprobación del **diseño** a través de los pasos anteriores se pasó al **modelo 3D a través del programa Solid Edge**.

El primer elemento que se diseñó fue la guantera, ésta, se puede ver en un corte frontal y una vista trimétrica⁴ con una imagen renderizada⁵ en la siguiente figura:

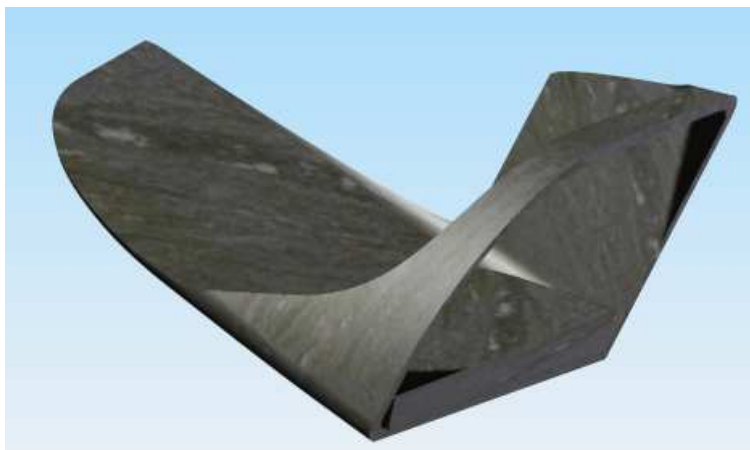


Figura 3.18 Guantero en Solid Edge. Vista trimétrica

A continuación se observa cómo es la forma del hueco de la guantera que se tiene para realizar el montaje del conjunto completo.

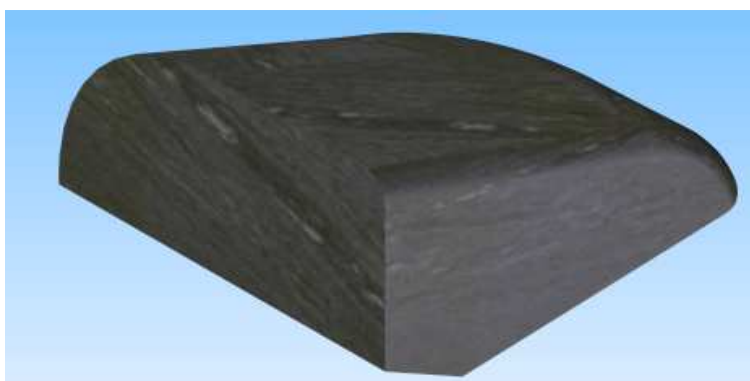


Figura 3.19 Hueco de la guantera en Solid Edge. Vista trimétrica

⁴ Se van a mencionar en el documento distintos tipos de vistas estandarizadas para la representación de objetos. Para facilitar el seguimiento del documento se remite al lector a la página 144 de esta memoria en el cual se puede apreciar como son las vistas a las que hace referencia.

⁵ El **renderizado de imágenes** es una **función del Solid Edge** (y de otros programas 3D) que permite obtener unas **imágenes con calidad fotográfica** con posibilidad de aplicar texturas, iluminaciones, brillos, efectos,...

En el presente documento se alternarán entre figuras renderizadas y otras con vista de trabajo, el criterio de selección entre una imagen renderizada y otra que no lo esté será aquella que aporte mayor claridad a la explicación.

3.3.1 Soluciones planteadas:

Durante todo el **proceso de diseño** se barajaron **distintas ideas para integrar todo el sistema** con las especificaciones que se deseaba a la guantera.

En los siguientes apartados **se comentaran las distintas soluciones con sus ventajas e inconvenientes en un proceso en el que se obtendrá la solución definitiva.**

1. Rack

La primera idea que se barajó fue el uso de un rack como elemento de soporte para el conjunto electrónico de control y potencia.

Un **rack** es un **bastidor destinado a alojar equipamiento electrónico**, informático y de comunicaciones. Sus medidas están normalizadas y suelen tener un **ancho de 19 [pulgadas] (48,36[cm])** dejando el alto y profundidad variable.

Esta opción resultaba muy **útil para la modularidad del sistema**, ya que dispone de guías que permiten la extracción rápida del conjunto. El **problema** fue con el **ancho**, al estar **estandarizado no fue posible integrarlo en la guantera**.

Se puede observar la diferencia de tamaños entre la guantera y un rack de 19'.

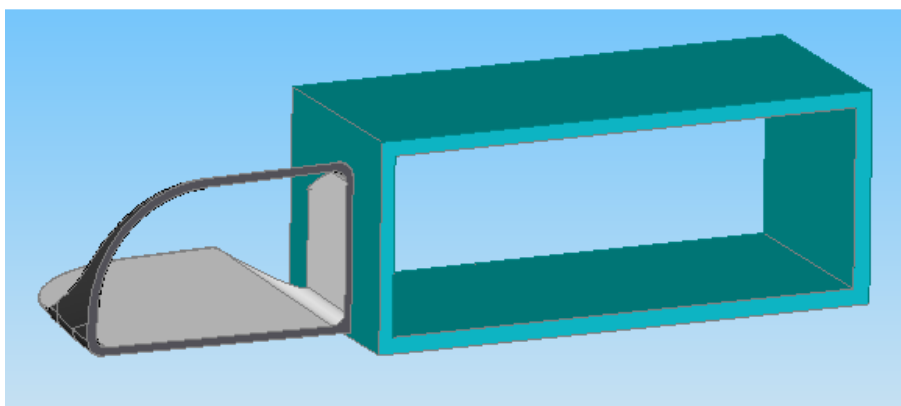


Figura 3.20 Comparativa de tamaños de la guantera y un rack de 19'

Se buscaron **racks no estandarizados** (de un ancho distinto a 19') acordes a las medidas del hueco. Se **descartaron por** los siguientes motivos:

- **El coste** de una solución no estándar.
- **La altura útil** se reducía mucho al ser la superficie superior de la guantera de forma descendente. Esta idea se puede apreciar en el paralelepípedo naranja, que sería el de mayor volumen que se podría obtener, y en el corte de la guantera la profundidad y el alto que se podría obtener.

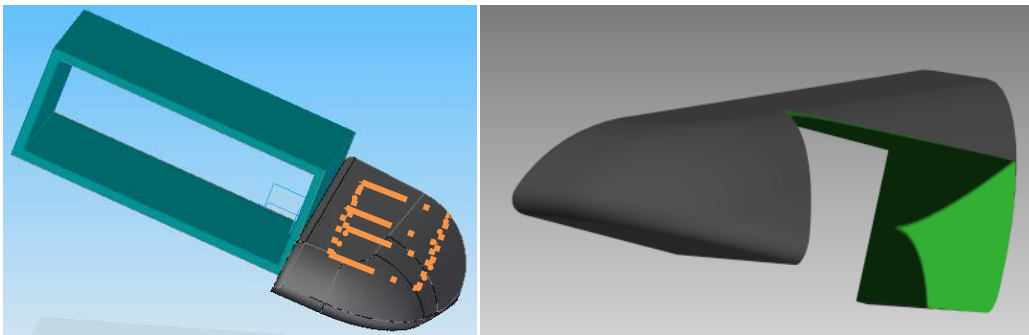


Figura 3.21 Guantera y Rack 19' problemas con la altura útil producidos por la guantera

2. Elemento de soporte y disipadores individuales por transistor

Al ser uno de los criterios de diseño el fácil mantenimiento y sustitución, se pensó en un **elemento sustentador del conjunto** (una plancha de **material plástico o metálico**) para **que fuese ensamblado con unas guías** para permitir una fácil extracción. Este elemento **aportaría resistencia mecánica** para sujetar el montaje de las vibraciones que se producirían en la plataforma iCab2 por el movimiento en el terreno.

Los transistores encargados de mover el motor **disipan potencia por conducción y conmutación**. Hay que tener en cuenta que esta potencia que disipan los transistores **ocasiona calentamiento y deterioro del elemento que lo soporta**.

En el proceso de diseño se propusieron dos formas: con un disipador individual para cada transistor (que se valoraran en este apartado) y con un disipador común para todo el montaje (que se valorará en el apartado siguiente (3)).

La forma de **disipar el calor de los transistores** sería con un **dispositivo comercial** para el **encapsulado** del transistor, el **TO220**. A continuación se presentan varios modelos de la compañía Seradhe fabricados por estampación.

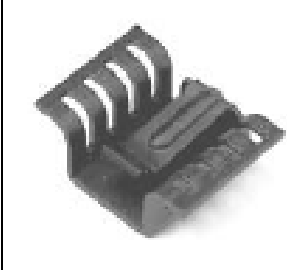


			
Referencia	2900.2	2908.7	2909.9
$R_{\theta sa}$	$25 \left[\frac{^{\circ}C}{W} \right]$	$16 \left[\frac{^{\circ}C}{W} \right]$	$18 \left[\frac{^{\circ}C}{W} \right]$

Tabla 4 Características térmicas para disipadores individuales para encapsulados TO220

La **proximidad de los transistores a el conjunto** supuso **desestimar esta solución**, aunque sugirió la solución final que se comenta en el siguiente apartado.

3. Disipador como elemento sustentador

Esta opción apareció al elegir **un disipador**, de unas medidas mayores, que **de soporte a la electrónica de la unidad de dirección** (módulos de potencia y control), y que cumpla con los requerimientos de potencia a evacuar para mantener el sistema en su rango de funcionamiento.

Para evaluar la forma de colocar el disipador se barajaron tres configuraciones:

- **Con el disipador paralelo a la guantera y las aletas hacia arriba:**

Esta opción, aunque **a efectos de disipación es la más eficiente**, se evitó puesto que las **placas tendrían problemas para ser reemplazadas** o acceder a la programación del micro.

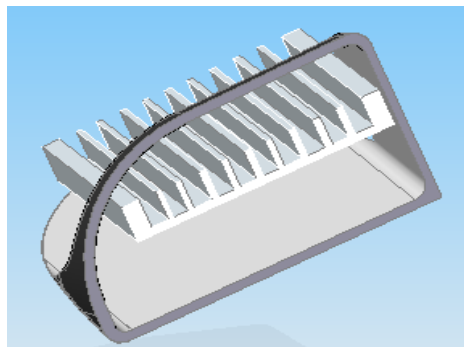


Figura 3.22 Montaje con el disipador paralelo a la guantera y las aletas hacia arriba

- **Con el disipador perpendicular a la guantera y las aletas en el exterior**

En el funcionamiento del sistema se produce calor que evacua el disipador hacia el exterior. Con la disposición de este montaje se podía producir un **contacto accidental del pasajero**. Además se producía un efecto indeseado al **reducirse el área útil para los módulos de potencia y control** y, con ello, una mayor concentración de los componentes.

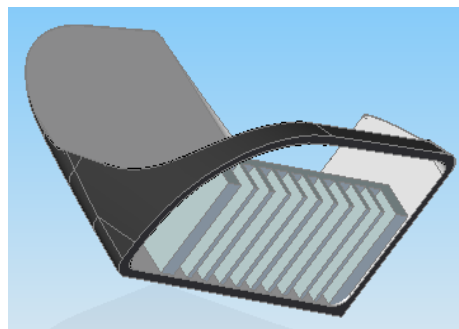


Figura 3.23 Montaje con el disipador perpendicular a la guantera y las aletas en el exterior

- **Con el disipador paralelo a la guantera y las aletas hacia abajo**

Ésta es la solución definitiva para el montaje del conjunto. Se puede ver un esquema de como resulta el montaje a continuación.

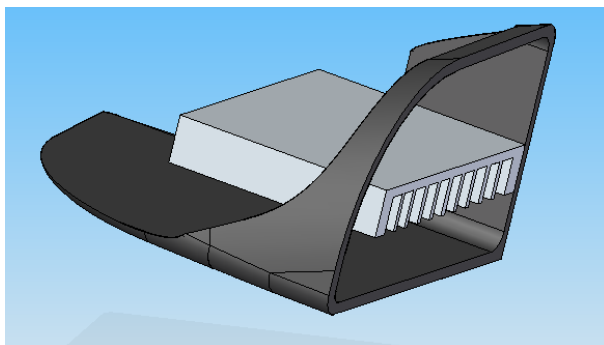


Figura 3.24 Montaje con el disipador paralelo a la guantera y las aletas hacia abajo

Una vez seleccionado un disipador, la última decisión que se tomó fue tapar o no la guantera. En los siguientes puntos se va a desarrollar el porqué de esta solución, junto con el diseño de los elementos necesarios para realizar el montaje.

Diseño sin tapa: Elementos comunes

El primer elemento que se seleccionó fue el disipador ya que las medidas que podía tener dejaban pocas soluciones comerciales estándar y, la selección de éste, marcaba el resto de selecciones posteriores.

- ***Disipador***

El **disipador**, al presentarse como elemento sustentador, se ha considerado como **sobredimensionado** a efectos térmicos y, por tanto, que sería capaz de disipar el calor que generan los transistores.

Se valoraron dos disipadores comerciales. En la siguiente tabla se muestran la compañía que lo fabrica, el modelo y las dimensiones.

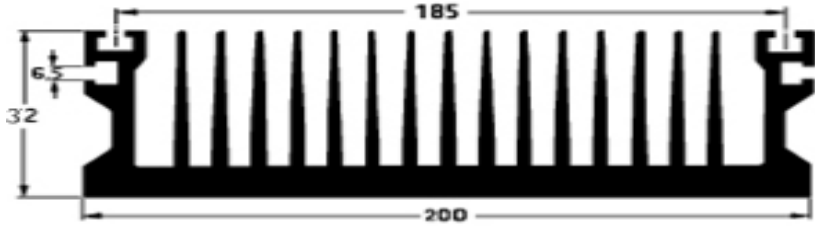
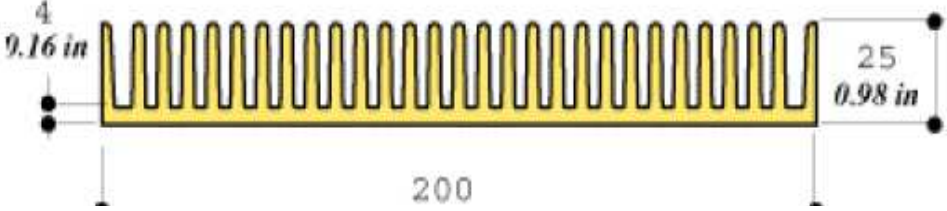
Compañía: Seradhe	200x150x32 [mm]	Modelo 1326
 <p>Figura 3.25 Disipador Seradhe 200X150X32</p>		
Compañía: Marston	200x200x25 [mm]	Modelo H S - 150CN-02000-A-200
 <p>Figura 3.26 Disipador Marston 200X200X25</p>		

Tabla 5 Distintas opciones de disipación

Finalmente se optó por el **disipador de Marston** ya que dispone de una **altura menor (25 [mm] frente a 32 [mm])**, que es preferible para un montaje más holgado del conjunto en la guantera, y **por la disponibilidad** a la hora de realizar el pedido en el suministrador (Farnell).

Para el montaje del disipador de la compañía Marston **se realizó un corte de 50 [mm] en profundidad** para adecuarlo a las dimensiones de la guantera (paso a medir 150 [mm] en lugar de la profundidad original de 200 [mm]).

El disipador se ha modelado en Solid Edge, de forma simplificada, con las dimensiones que presentaba después del corte. Con todo esto se obtiene el siguiente disipador:

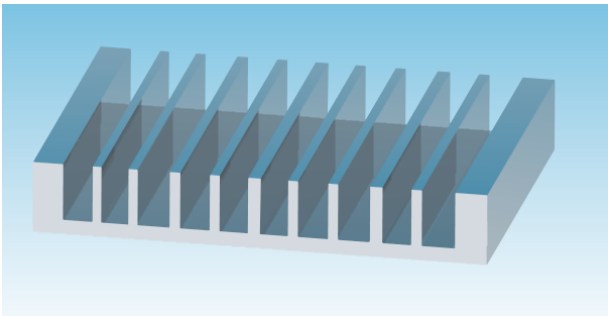


Figura 3.27 Disipador Marston en Solid Edge

Las características más notables del disipador se presentan en la siguiente tabla en la que se ha recalculado la resistencia térmica $R_{\theta sa}$ y el peso de acuerdo a las nuevas dimensiones.

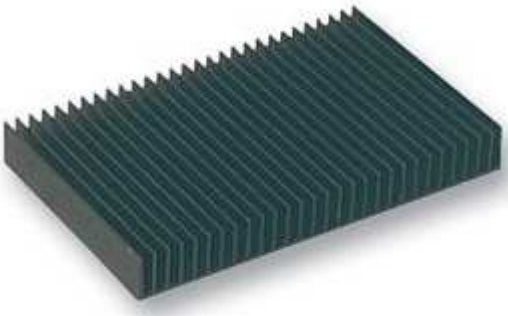
	
$R_{\theta sa} = 0,65 \left[\frac{^{\circ}C}{W} \right]$	Peso: 1,22 [Kg]

Tabla 6 Características disipador Marston 150CN-02000-A-200

- **Guías telescópicas**

Para poder acceder de un modo más fácil a los elementos se ha optado por unas **guías telescópicas** con autobloqueo en posición cerrada. El autobloqueo se escogió para anclar el montaje en la posición cerrada que será la que tendrá cuando la plataforma esté funcionando.

La elección de las guías telescópicas se ha obtenido de la página web (Chambrelan) y las características son las que aparecen en la siguiente tabla:

Compañía	Chambrelan
Modelo	FT 051 AGS L150
Longitud plegada	150 [mm]
Modo de extensión	Extensión total
Auto bloqueo	En posición cerrada
Resistencia	7 [Kg]

Tabla 7 Características guías telescópicas Chambrelan FT 051 AGS L150

Han sido incorporadas al modelo del conjunto en Solid Edge para ver el resultado final y así obtener los soportes necesarios para el anclaje. En la figura siguiente aparecen las guías extensibles en Solid Edge en la posición de apertura y de cierre.



Figura 3.28 Guías deslizantes abiertas y cerradas (Chambrelan FT 051 AGS L150)

Diseño con tapa.

El boceto original, realizado en Photoshop, muestra las características estéticas que se buscaban para la tapa.

En él se puede observar que **el hueco de la guantera está completamente tapado** pero, para un mejor funcionamiento del sistema, se debe **permitir un flujo de aire en el interior** de la guantera por medio de unos orificios. De no permitirse el flujo de aire, la guantera, se convertiría en un “*pequeño horno*”.



Figura 3.29 Boceto de la tapa de la guantera

Por todo esto se van a realizar unos orificios en la tapa para incorporar unos **ventiladores** que **introducen aire fresco y evacuan aire caliente del interior**.

Se van a mostrar a continuación los elementos necesarios para realizar el montaje con tapa.

- **La tapa**

La **tapa debe encajar en el frontal de la guantera**. Gracias al modelado de la guantera que se realizó en Solid Edge resulta bastante fácil obtener un boceto y, a partir de él, una plancha con las dimensiones deseadas.

La forma generada se puede materializar en metal o en plástico. Finalmente **se fabricó en plástico de 3 [mm]** de espesor con una textura parecida a la de la plataforma original.

Se determinó que **el tamaño máximo y disposición de ventiladores** eran: **4 ventiladores de 40x40 [mm]**.

El diseño de la tapa final se presenta a continuación:

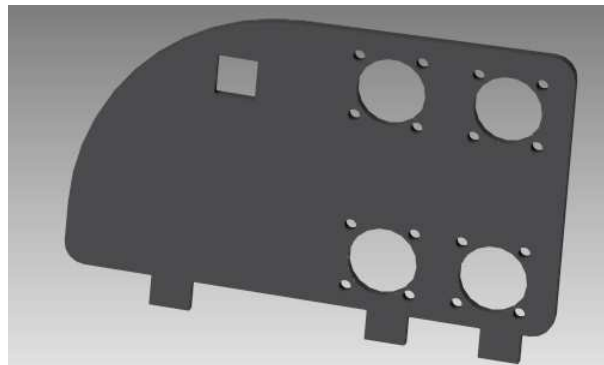


Figura 3.30 Tapa final de la guantera

Durante el proceso de diseño se plantearon **tres opciones para incorporar la tapa en el vehículo**:

1. La tapa se une al elemento deslizante que surgirá del montaje

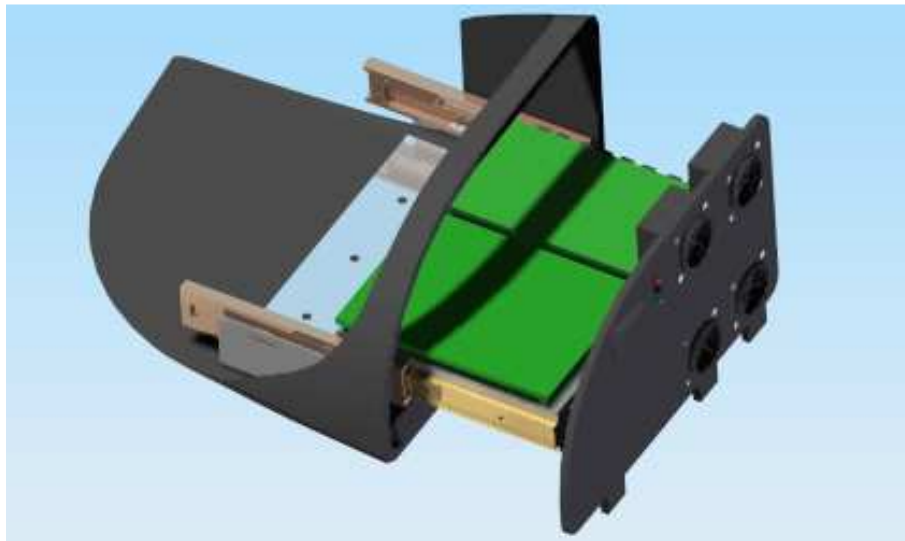


Figura 3.31 Tapa unida al elemento deslizante y cierre superior. Vista dimétrica

Esta solución **puede producir vibraciones sobre las soldaduras y sobre los elementos mecánicos** por lo que se descartó como opción final.

2. La tapa unida con una bisagra y un cierre superior.

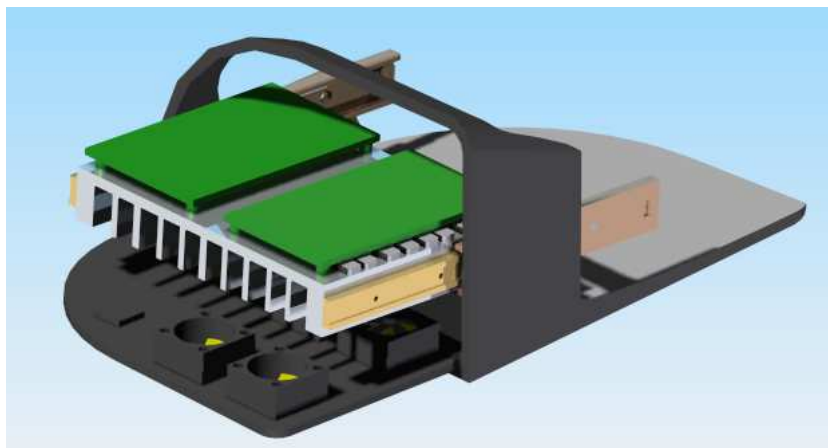


Figura 3.32 La tapa unida por una bisagra

Esta opción presentaba el **problema de la sujeción de la tapa cuando se encontraba en la posición abierta**. Se tendría que haber diseñado unos **tirantes** para poder sujetarla en esa posición y complicaba el montaje con lo que se desestimó.

3. La tapa unida por unos topes inferiores y un cierre superior.

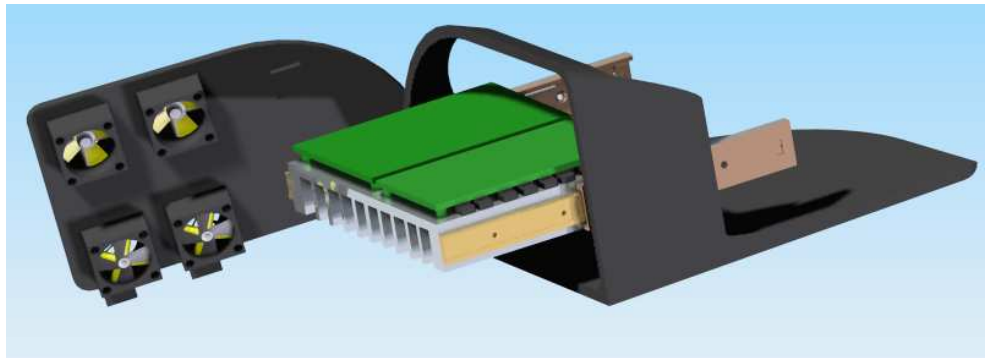


Figura 3.33 La tapa unida por unos topes inferiores y un cierre superior

En este caso la tapa es muy **fácil de desmontar** y no introduce dificultades de sujeción extras, como en el caso anterior, por eso ha resultado la **solución seleccionada**.

- **Los ventiladores**

El modo de acoplar los ventiladores al conjunto se realizó en conjunto con el resto de elementos que integran la guantera.

Para la **selección de los ventiladores se buscó modelos comerciales entre** los distribuidores **RS y Farnell**.

En cuanto al funcionamiento de los ventiladores: estos tienen una orientación, según la cual expulsan o introducen aire. Si bien los ventiladores (físicamente) señalan el sentido de flujo de aire en el modelo 3D se va a señalar cuál es la dirección en la que se produce el flujo de aire.

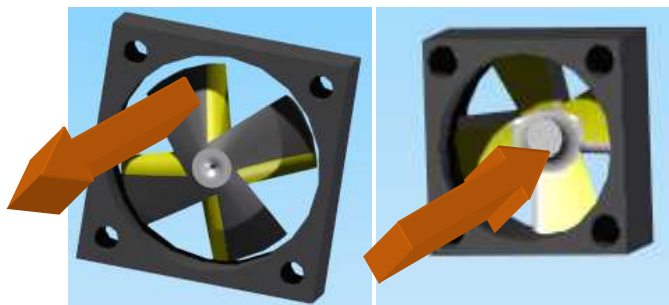


Figura 3.34 Sentido de flujo de aire del ventilador

Los ventiladores se colocan de tal forma que **el aire siga un flujo concreto** que mejore la disipación.

El aire a temperatura ambiente entra del exterior por la zona inferior, donde empieza a calentarse y **es extraído del interior por la zona superior**, donde ha subido ya su temperatura al extraer calor. El calor extraído proviene al generarse un flujo forzado sobre las aletas del disipador y del recinto cerrado de la guanter. La idea del flujo de aire aparece en la Figura 3.35:

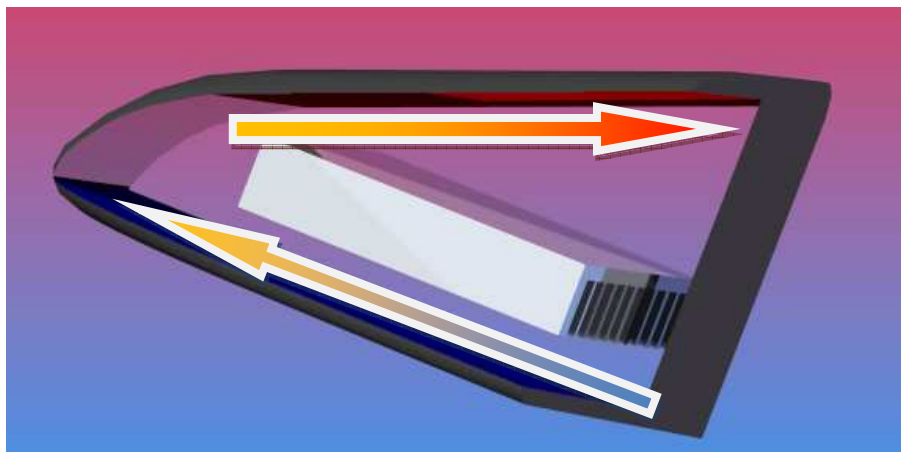


Figura 3.35 Flujo de aire forzado en la guanter

La solución encontrada se buscó entre ventiladores de 12 [V], 24 [V] y 48 [V], puesto que la forma de atacarlos estaba condicionada por el número de salidas libres que se disponía en el módulo de control de la unidad de dirección.

La **ubicación de los ventiladores** se presentó **de diferentes formas**:

- *Ventiladores en el elemento deslizable*

En esta imagen se puede observar la disposición de los ventiladores sobre el elemento deslizable. El modo **de sujeción sería a través de una placa**, metálica o plástica, **que los uniese**. No se ha diseñado esta placa ya que los ventiladores **inducen vibraciones sobre la electrónica y sobre el elemento de soporte** que no son deseados y por eso se descartó esta opción.

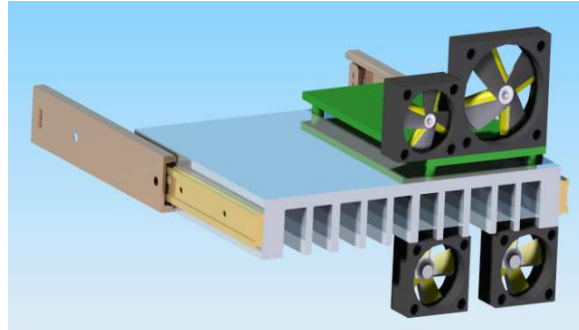


Figura 3.36 Todos los ventiladores sobre el elemento deslizable

- *Ventiladores en la tapa de la guantera y parte de elemento deslizable*

Una solución intermedia entre tener todos los ventiladores en el elemento deslizable y en la tapa es situar **dos ventiladores (los inferiores) para dar apoyo al elemento deslizable en la posición de cierre** y los ventiladores superiores en la tapa.

A este diseño faltaría por decidir si la tapa debería ir con bisagras o unida al elemento deslizable con un adaptador.

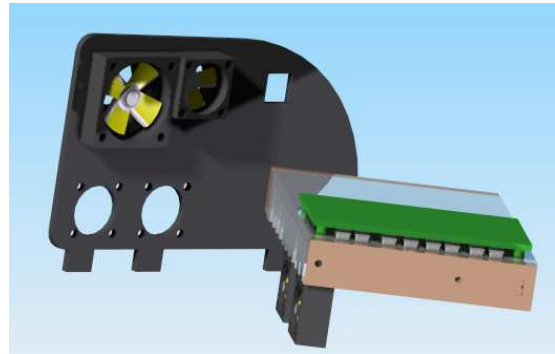


Figura 3.37 Ventiladores inferiores sobre el elemento deslizable

Este diseño produce las mismas **vibraciones sobre la electrónica y el montaje** del elemento **se complicaría** para poder ajustar el soporte plano de los ventiladores inferiores sin producir rozamientos previos a la posición de cierre.

- *Ventiladores sobre la tapa de la guantera*

La solución definitiva resultó ser con la **tapa unida por unos topes y un cierre.**

Se puede ver como quedaría la tapa con los ventiladores, los indicadores luminosos y el dispositivo de cierre en la siguiente figura:

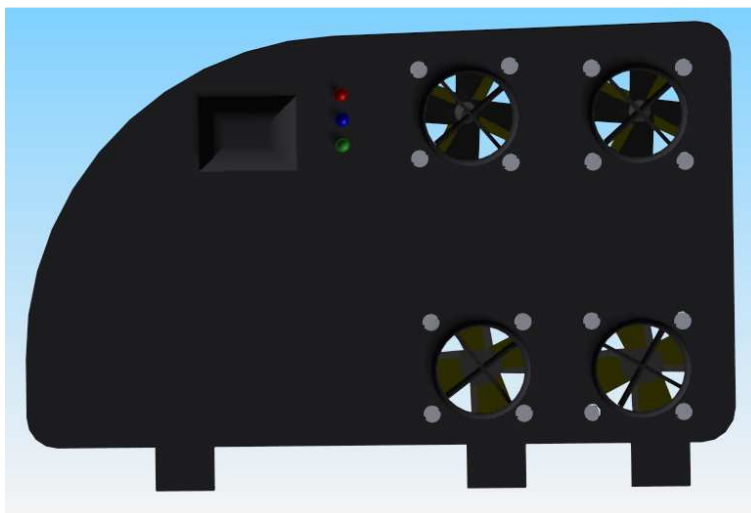


Figura 3.38 Vistas de la tapa con todos los elementos del diseño

En este momento del proceso de diseño e integración faltaba por diseñar el elemento de soporte para las guías deslizantes y, a su vez, de todo el conjunto.

- ***Soporte de las guías telescópicas***

El procedimiento para crearlo fue por medio de un boceto (sketch) en Solid Edge en el plano que forma dicha superficie y generar a partir de él una plancha con las formas deseadas.

Para el soporte se barajaron **distintas opciones:**

- Un solo soporte

Esta montaje hacia uso del acceso a la zona derecha de la guantera, donde se podría atornillar la guía correspondiente, teniendo que diseñar la del lado izquierdo, quedando el diseño con **un soporte y atornillada una guía a la guantera**.

La guantera (que se pudo observar en la Figura 3.18) **presenta un ángulo en superficie de apoyo** que se caracteriza en la siguiente figura:

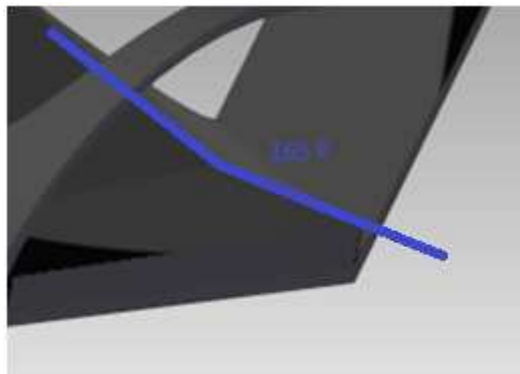


Figura 3.39 Detalle del ángulo de la guantera

El soporte generado (para la sujeción con un solo soporte) se puede observar en la imagen siguiente

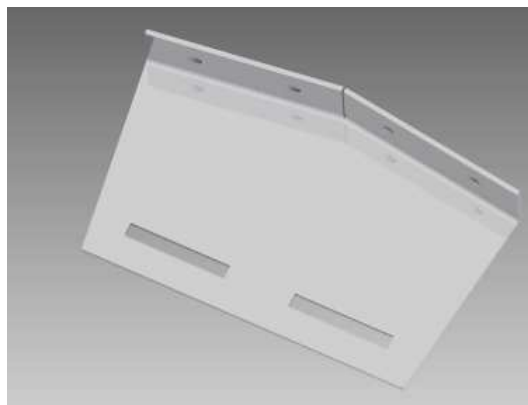


Figura 3.40 Soporte para la guía

Esta **opción no es deseable** ya que se plantea la **necesidad de tener que quitar todo el conjunto en algún momento como proceso de mantenimiento** de la unidad.

- Doble soporte independiente

En esta solución se emplea el mismo diseño que se realizó en el apartado anterior. El diseño anterior se realizó de tal forma que el soporte fuera intercambiable para el soporte izquierdo y derecho, presentando únicamente como diferencia su montaje con la colocación de las bases hacia el interior.

Esta solución presentaba **complejidad para realizar un buen montaje**. El problema se presentaba al desviarse ligeramente en los agujeros de anclaje a la guantera (lo cual era bastante fácil ya que para anclar dicho soporte se debe de taladrar el bastidor de acero del vehículo) provocando un movimiento no paralelo de las guías deslizantes. Para evitar ese problema y seguir con esta solución se pensó en introducir un **elemento que mantuviese el conjunto a la misma distancia** (algo similar a una varilla de acero) pero finalmente **se desestimo este diseño** y se pasó al siguiente motivado por la facilidad de montaje del conjunto.

- Soporte único para ambos lados

Se tomaron las medidas del conjunto y se realizó **un soporte en un solo cuerpo** para, con solo tres tornillos, anclar todo el conjunto a la guantera y al bastidor del coche.

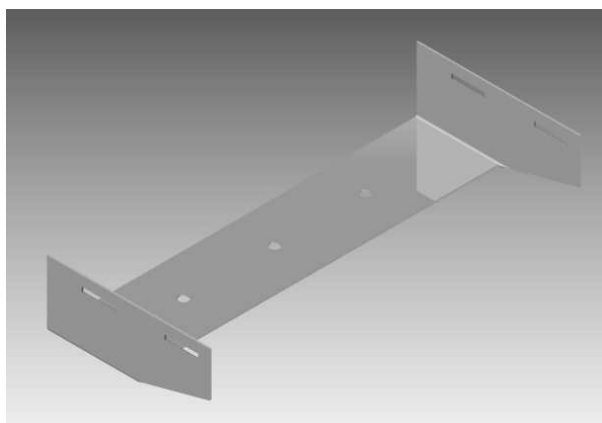


Figura 3.41 Soporte único para ambos lados

En la siguiente figura se puede apreciar el montaje completo:



Figura 3.42 Montaje completo con soporte. Vista trasera



Capítulo 4:

Sistemas Electrónicos Embebidos (SEE).

4 Sistemas electrónicos embebidos (SEE)

4.1 Introducción a los sistemas EDA

La aparición de los entornos gráficos ha facilitado considerablemente el diseño y simulación de circuitos electrónicos, convirtiéndose, en la mayoría de los casos, en una herramienta imprescindible cuya evolución discurre paralelamente a la de los computadores en los que se hayan instalados.

Los llamados **entornos EDA** (*Electronic Design Automation*) son **similares a los programas CAD/CAM** (*Computer Assistant Design/Computer Assistant Machine*) pero **orientados al diseño electrónico**. Se controla el diseño y la producción desde el computador, pudiendo realizarse los cambios necesarios mientras discurre el proceso.

Estos paquetes de software están compuestos por una serie de programas que utilizan los datos existentes en las librerías y los procesan para obtener finalmente un conjunto de ficheros que contienen el diseño.

En primer lugar hay que realizar la captura del esquema y a continuación se realiza el **diseño de la placa de circuito impreso PCB** (*Printed Circuit Board*). Se ha optado por el software de **OrCAD** por ser uno de los más extendidos y potentes.

El **capturador de esquemas de OrCAD se denomina Capture** y con él se crea el esquemático del circuito (analógico, digital o mixto) a diseñar, utilizándose también para modificar diseños ya realizados.

También se utiliza para crear y modificar componentes, hacer chequeos eléctricos del circuito, obtener listados, etc.

El procedimiento es el siguiente: hay que crear un nuevo proyecto; posteriormente se añaden las librerías donde se encuentran los componentes, y se van uniando entre ellos. Si un componente no se encuentra, como sucedió con algún conector se tendría que construir dicho componente. El Capture tiene una opción en la que se dibuja el componente y se le asigna los pines de manera personalizada, permite numerarlos según proceda.

La unidad de dirección la dividimos en dos módulos como se vio en la

Figura 3.9 , **el módulo de control y el de potencia**. En los siguientes apartados se desglosaran las citadas unidades tal y como se subdividieron en las Figura 3.10 para el módulo de control y la Figura 3.11 para el módulo de potencia.

4.2 SEE pertenecientes al módulo de control

El esquemático del módulo de control⁶ se puede apreciar a continuación:

⁶ Se puede observar el esquemático del módulo de control en el Anexo B: Esquemático del Módulo de Control.

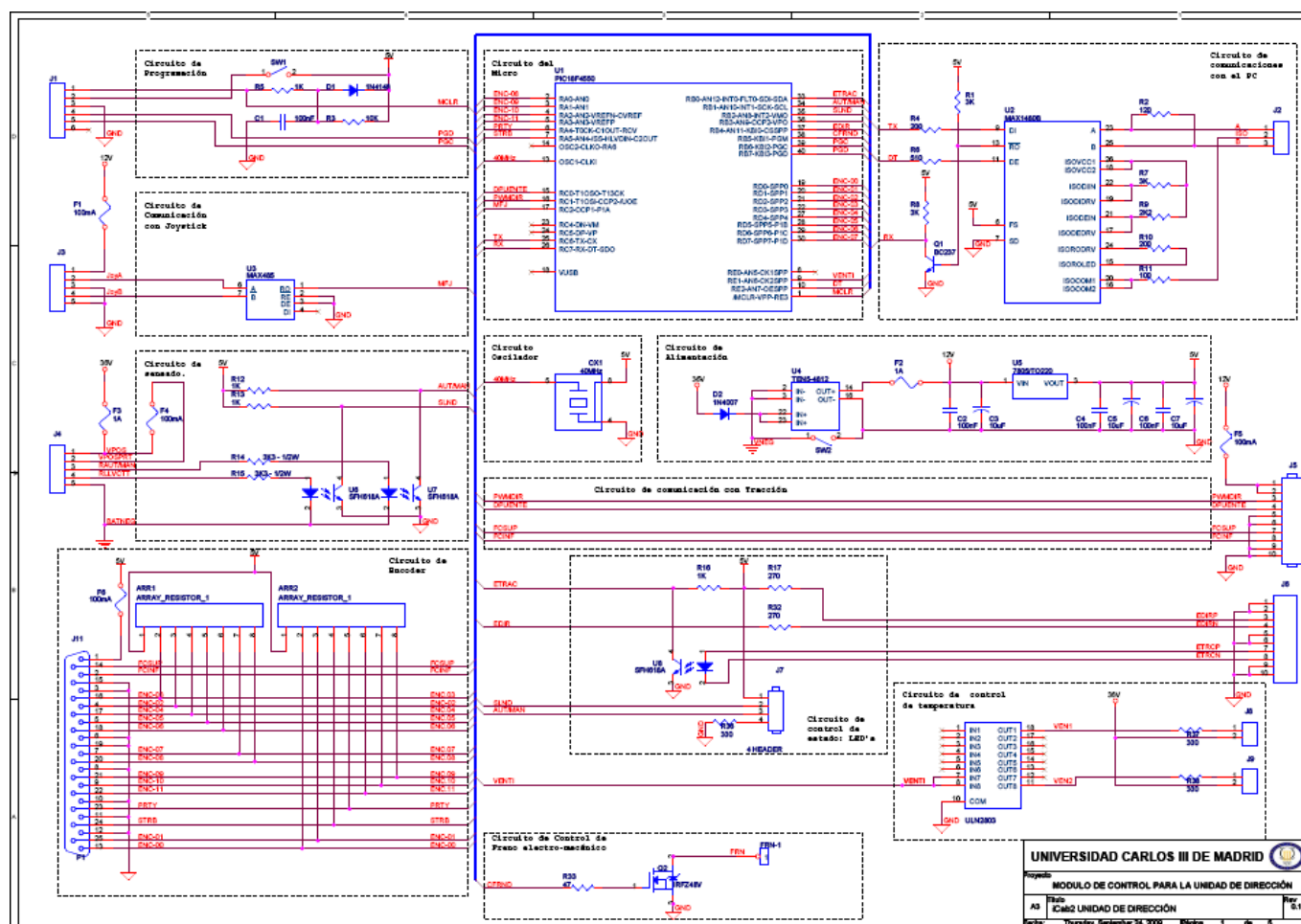


Figura 4.1 Esquemático del módulo de control

A partir del esquemático anterior, se desglosarán las características de los circuitos que componen el módulo completo.

1. Circuito de alimentación

Es el circuito que **genera las tensiones de alimentación** que necesita el módulo partiendo de la tensión de batería de 36[V].

Esta formado por un convertidor DC-DC (Traco) del que se obtienen 12V y en una segunda conversión por un regulador lineal del que se obtienen 5 [V].

El diodo de entrada protege al módulo de una polaridad inversa, mientras que los condensadores son los desacoplos.

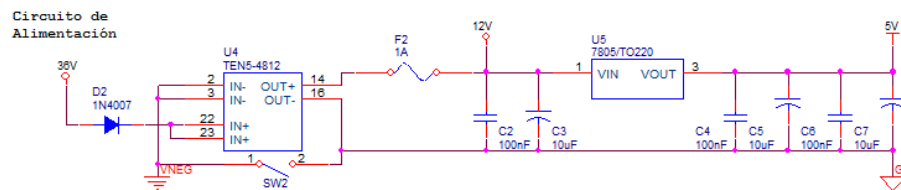


Figura 4.2 Circuito de alimentación

2. Microcontrolador

El modelo escogido es un PIC18F4550 de la compañía Microchip.

Este **microcontrolador** es el **núcleo central**: **encargado de gestionar todas las señales de los módulos de control y potencia**, así como de las **comunicaciones con los otros módulos y el PC**.

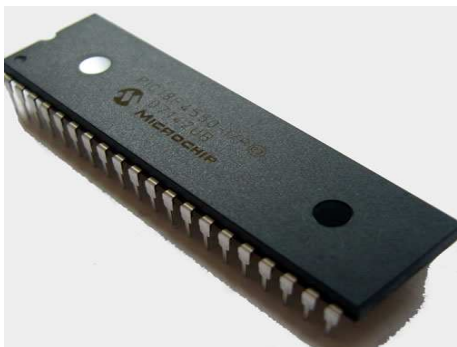


Figura 4.3 Micro controlador PIC18F4550

Tipo de memoria de programa	Flash
Memoria de programa	32 [KB]
RAM	2,048 [Bytes]
Data EEPROM (bytes)	256 [Bytes]
Periféricos de comunicaciones digitales	USART I2C
Periféricos de captura/comparación/PWM	1 CCP, 1 ECCP
Modos de timer	1 x 8-bit, 3 x 16-bit
Convertor analógico digital	13 ch, 10-bit
Comparadores	2
USB	1, Full Speed, USB 2.0

Rango de temperaturas	(-40, 85) [°C]
Tensión de funcionamiento	(2, 5.5) [V]
Número de pines	40

Tabla 8 Características micro controlador PIC18F4550

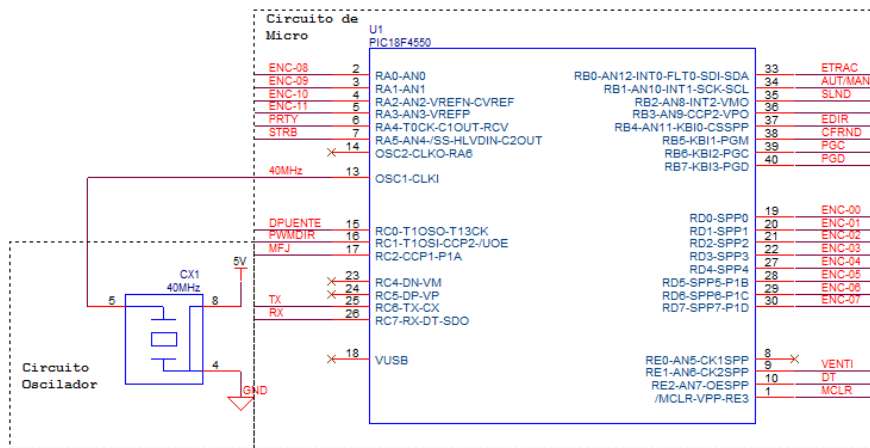


Figura 4.4 Circuito del Microcontrolador

A continuación se muestran en una tabla **las señales del microcontrolador** y, para cada caso si son de alimentación (A), de entrada (E), de salida (S) o bidireccionales (B).

Pin	Señal	Configuración	Descripción
1	MCLRC	E	Entrada digital. Master Clear Reset. Bajo: Reset del Micro.
2	ENC-08	E	Entrada Digital. Sensado del Encoder de Dirección (Bit-08).
3	ENC-09	E	Entrada Digital. Sensado del Encoder de Dirección (Bit-09).
4	ENC-10	E	Entrada Digital. Sensado del Encoder de Dirección (Bit-10).
5	ENC-11	E	Entrada Digital. Sensado del Encoder de Dirección (Bit-11).
6	ENC-PRTY	E	Entrada Digital. Sensado del Encoder de Dirección (Bit de Paridad).
7	ENC-STRB	E	Entrada Digital. Sensado del Encoder de Dirección (Bit de Strobe).
8	-	-	No utilizada

9	VENTI	S	Salida Digital Alto: Activación de los ventiladores
10	DT	S	Salida Digital. Habilitación del driver RS485 para transmisión. Alto: Habilita el driver para transmitir datos.
11	5V	A	Alimentación del microcontrolador.
12	GND	A	Alimentación del microcontrolador.
13	40MHz	E	Entrada Digital. Entrada de reloj del microcontrolador.
14	-	-	No utilizada
15	DPUEENTE	S	Salida Digital. Selección de sentido de giro.
16	PWMDIR	S	Salida Digital. PWM del Motor de Dirección.
17	MFJ	E	Entrada Digital. Modulación en Frecuencia del Joy.
18	-	-	No utilizada
19	ENC-00	E	Entrada Digital. Sensado del Encoder de Dirección (Bit-00).
20	ENC-01	E	Entrada Digital. Sensado del Encoder de Dirección (Bit-01).
21	ENC-02	E	Entrada Digital. Sensado del Encoder de Dirección (Bit-02).
22	ENC-03	E	Entrada Digital. Sensado del Encoder de Dirección (Bit-03).
23	-	-	No utilizada
24	-	-	No utilizada
25	TX	S	Salida Digital. Dato transmitido por la línea serie RS485.
26	RX	E	Entrada Digital. Dato recibido por la línea serie RS485.
27	ENC-04	E	Entrada Digital. Sensado del Encoder de Dirección (Bit-04).
28	ENC-05	E	Entrada Digital. Sensado del Encoder de Dirección (Bit-05).
29	ENC-06	E	Entrada Digital. Sensado del Encoder de Dirección (Bit-06).
30	ENC-07	E	Entrada Digital. Sensado del Encoder de Dirección (Bit-07).
31	GND	A	Alimentación del microcontrolador.
32	+5V	A	Alimentación del microcontrolador.
33	ETRC	E	Entrada Digital. Estado de la UTRC. Bajo: Estado de la UTRC "correcto".

34	AUT/MAN	E	Entrada Digital. Sensado de modo automático o manual. Bajo: Modo Automático. Alto: Modo Manual.
35	LLVCTT	E	Entrada Digital. Sensado de la llave de contacto. Bajo: Llave de contacto no girada.
36	-	-	No utilizada
37	EDIR	S	Salida Digital. Estado de la UDIR. Bajo: Estado de UDIR "correcto".
38	CFRND	S	Salida Digital. Control de Frenado.
39	PGC	B	Bidireccional. Programing Clock: Entrada/Salida de reloj al microcontrolador.
40	PGD	B	Bidireccional. Programing Data: Entrada/Salida de datos serie al microcontrolador.

Tabla 9 Descripción de las señales del microcontrolador

3. Circuito de programación y depuración

Con este circuito para la programación y depuración se dota al módulo de un conector que permite **programar y depurar el programa del microcontrolador** aprovechando su característica de "In Circuit Programming" (ICP).

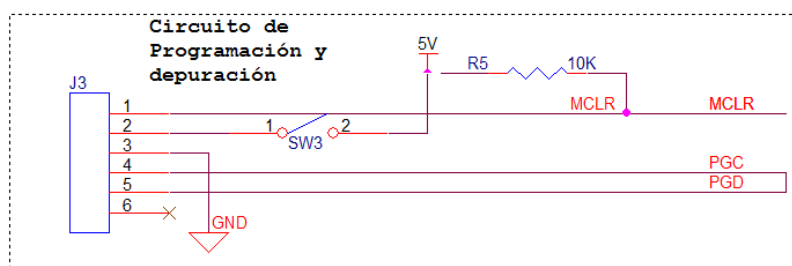


Figura 4.5 Circuito de programación y depuración

4. Unidad de comunicaciones con el PC

Para aislar eléctricamente las señales de comunicación entre la unidad de dirección y el PC se utiliza un MAX1480B, el cual **adecúa los niveles de tensión de TTL a el estándar de comunicaciones RS485/RS232.**

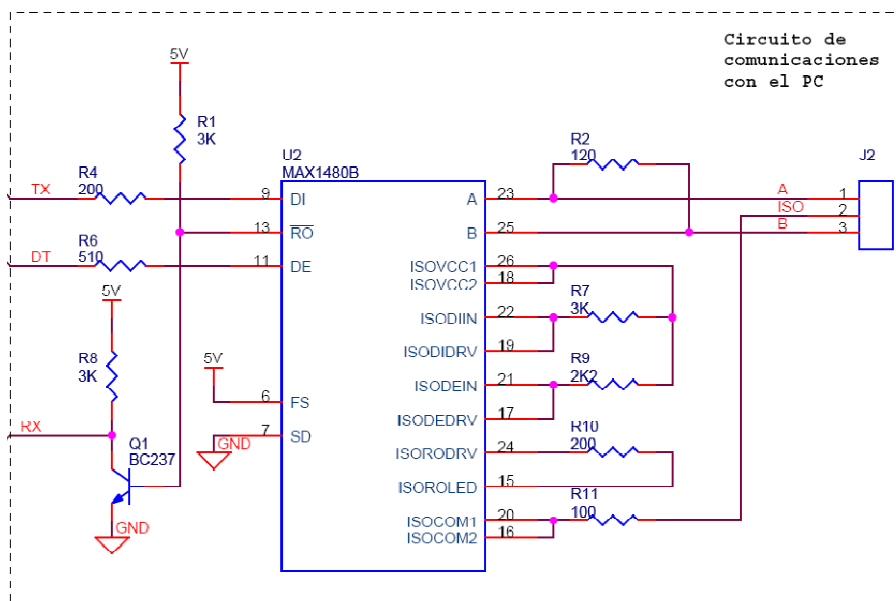


Figura 4.6 Unidad de comunicaciones con el PC

Modo de transmisión	Half/full dúplex
Encapsulado	28 Dip
Ratio transmisión	0,25 [Mbps]
Tensión de alimentación	5[V]

Tabla 10 Características MAX1480B

5. Comunicaciones con la unidad de tracción

Las **comunicaciones con la unidad de tracción** se hacen por medio de **una señal de estado del sistema y otra señal que le habilita.**

El envío de la señal de estado y de la señal que refleja que la unidad está habilitada se observa en la figura siguiente:

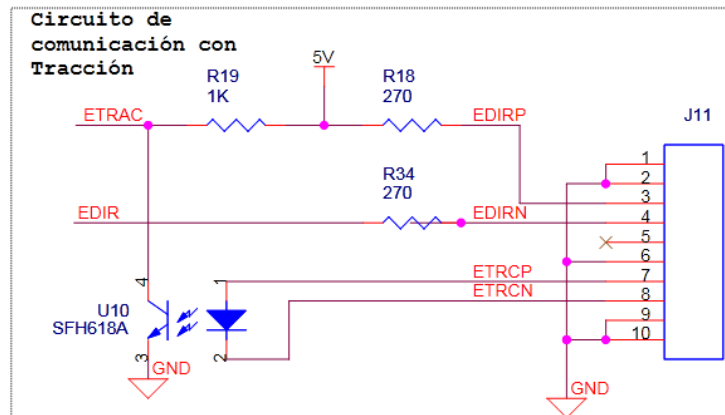


Figura 4.7 Comunicaciones con la unidad de tracción. Envío

La recepción de señales de la unidad de tracción se realiza por medio de unos optoacopladores (SFH618A) que se encargan de separar la referencia de potencia con la referencia de control y de filtrar las altas frecuencias puesto que no son capaces de trabajar a ese rango de frecuencias.

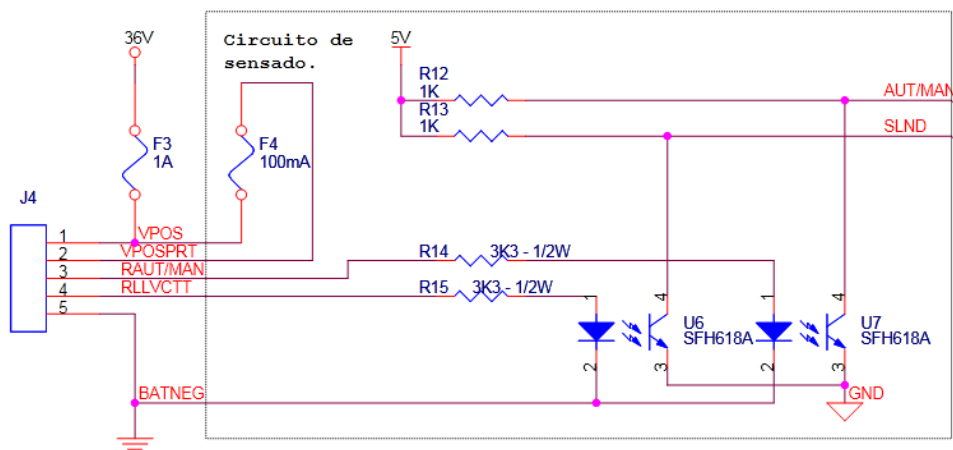


Figura 4.8 Comunicaciones con la unidad de tracción. Recepción

6. Comunicaciones con el submódulo de joystick

Este circuito **entrega la alimentación de 12[V]** al submódulo del joystick, del cual **recibe una señal diferencial** variable en frecuencia **que depende de la posición del joystick**.

En este circuito se dispone de un **convertor de la señal diferencial recibida del módulo del joystick a niveles TTL (MAX485)**.

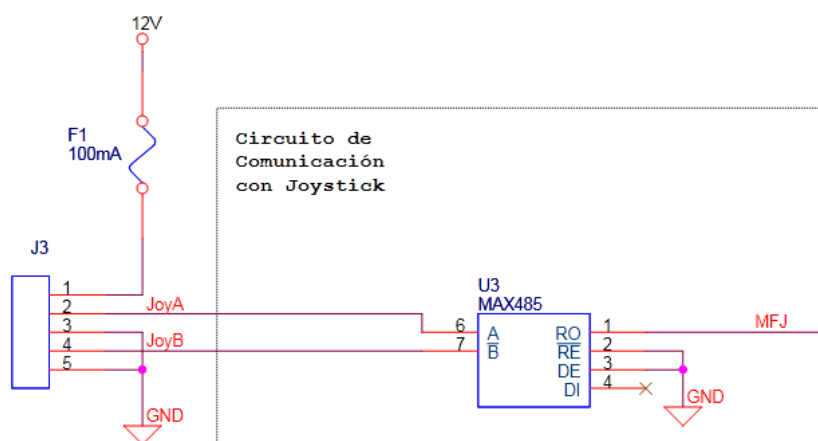


Figura 4.9 Comunicaciones con el submódulo de joystick

7. Control de estado del sistema

Este circuito tiene la finalidad de **informar al usuario de la plataforma el estado del conjunto** a través de unos leds luminosos.

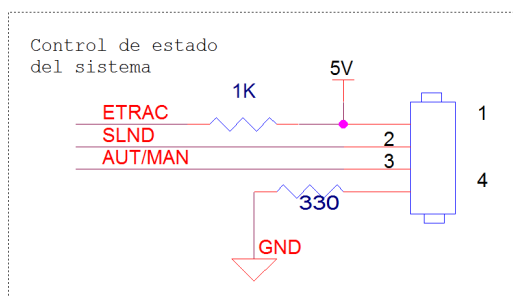


Figura 4.10 Control de estado del sistema

Se contempla en la siguiente tabla las equivalencias de **funcionamiento de los indicadores luminosos**:

Señal de entrada	Color	Funcionamiento en estado
ETRAC	Rojo	Alto
SLND	Verde	Alto
AUT/MAN	Azul	Alto

Tabla 11 Equivalencia entre indicadores y señales de excitación

8. Control de temperatura

Para controlar la temperatura en el interior del receptáculo es necesario el uso de ventiladores que fuercen un flujo de aire. El circuito que los alimenta es un array de transistores Darlington controlado por uno de los pines libres del micro.

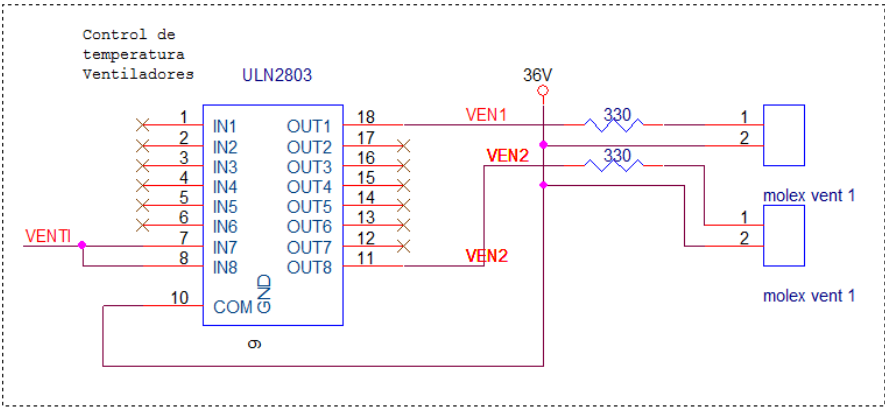


Figura 4.11 Control de temperatura

Las características del array de transistores Darlington ULN2803 se aprecian de su datasheet:

500-mA Rated Collector Current (Single Output)
High-Voltage Outputs . . . 50 V

Figura 4.12 Características ULN2803 (Array de transistores Darlington)

El diseño del conjunto ofrecía dos posibilidades de alimentación de los ventiladores:

- **Alimentar el ventilador a 12 [V]:** esta opción **no fue viable** porque el convertidor de 36 [V] a 12 [V] (Ten5 4812 de Traco), del módulo de control, **está trabajando a una corriente nominal que se acerca a su máxima.**

Models				
Ordercode TEN 5-4812	Input voltage range	Output voltage 12 VDC	Output current max. 500 mA	Efficiency typ. 86 %

Figura 4.13 Características Traco Ten5 4812

Resultaba muy interesante puesto que para 12[V] existen muchos ventiladores de distintos tamaños que son compatibles con el diseño del montaje en la tapa.

Las características de los ventiladores de la compañía Maglev de 12 [V] para el tamaño 40x40x20 [mm] aparecen a continuación:

Model	P/N	Bearing ● VAPO ● 2BALL	Rating Voltage (VDC)	Power Current (AMP)	Power Consumption (WATTS)	Speed (RPM)	Air Flow (CFM)	Static Pressure (Inch-H ₂ O)	Noise (dBA)	Weight (g)
KDE1204PKVX	MS.A.GN	●	12	0.12	1.4	8200	10.8	0.27	27.5	31
KDE1204PKV1	MS.A.GN	●	12	0.07	0.8	7200	8.9	0.21	25.5	31
KDE1204PKV2	MS.A.GN	●	12	0.05	0.6	6200	7.7	0.16	21.0	31
KDE1204PKV3	MS.A.GN	●	12	0.03	0.4	5200	6.3	0.11	18.0	31

Figura 4.14 Características de los ventiladores de 12 [V] de Maglev

El ventilador que menos corriente demanda es 30 [mA], si se usaban en el conjunto 4 ventiladores iguales se demandarían 120 [mA] que era el 24% de la corriente que es capaz de introducir el convertidor.

Se pudo elegir otro convertidor de mayor potencia y corriente pero finalmente no se seleccionó por la diferencia de precios entre el elemento seleccionado y la disponibilidad. Además seleccionándolo esta tensión para alimentar los ventiladores se induciría ruido en la unidad de dirección.

- **Alimentar el ventilador a 36 [V]:** el integrado ULN2803 es capaz de actuar a esa tensión para mover un ventilador de 48 [V] o 24 [V].

El siguiente paso en la selección fue buscar unos **ventiladores que no excediesen las medidas indicadas en el diseño** y que puedan funcionar a una tensión de 36 [V]

Los **ventiladores estándar de 48 [V] exceden las medidas del diseño** (siendo las medidas inferiores para esta tensión 80x80x32 [mm]). Su rango de tensiones abarca la alimentación de 36 [V] de la batería como se puede observar con los ventiladores de la compañía S-force para una alimentación de 48[V].

Air flow	Air flow	Nominal Voltage	Voltage Range	Noise		Sintec-Sleeve Bearings	Power Input	Nominal Speed	Temperature Range	Service Life L_{10}	at t_{max}
m ³ /h	CFM	V DC	V DC	dB(A)	bels	□/■	Watt	min ⁻¹	°C	Hours	Hours
54	31.8	48	36...56	36	5.2	■	2.6	3 300	-20...+75	70 000/30 000	
67	39.4	48	36...56	43	5.8	■	4.3	4 200	-20...+75	62 500/27 500	
80	47.1	48	36...56	48	6.2	■	5.8	5 000	-20...+65	55 000/30 000	

Figura 4.15 Características de los ventiladores de la compañía S-force para 48 [V]

Como las baterías disminuyen su tensión a medida que se descargan, no se podía asegurar que el ventilador funcionase independientemente del estado de carga de las baterías (oscila entre los 36 y 48 [V]).

La siguiente opción fue buscar **ventiladores de 24 [V] (iguales)** y ponerlos **en serie**, siempre que cumplan con las especificaciones de tensión.

En esta tensión de alimentación no se presentaron muchos problemas para encontrar ventiladores **de las dimensiones** que **el diseño** pedía. El **ventilador escogido** fue de la **compañía Sunon** y sus características se muestran a continuación:

Modelo	Sunon KDE2404PKV2.MS.A.GN
Medias	40x40x20 [mm]
Tensión de operación	[8...27,6] [V]
Tensión de inicio	8 [V] @ 25 [°C]
Corriente de operación	33 [mA]
Potencia consumida	0,8 [W]
Ruido	21 [dB(A)]

Figura 4.16 Propiedades ventilador Sunon KDE2404PKV2.MS.A.GN

Al disponer de dos ventiladores montados en serie y supuestos iguales se obtiene que su rango de operación está comprendido entre los: (16|55,2) [V]. Este rango de tensión no influye en su mínimo con el estado de carga de las baterías.

La decisión final, a efectos de ventiladores, fue incorporar 4 ventiladores (2 pares de dos ventiladores en serie) iguales alimentados por dos salidas del ULN2803 que serán controladas por el PIC18F4550 de la placa de control.

9. Conectores módulo de control

Se tomaron unos **criterios** de acuerdo a la selección de conectores:

- El conector debería de **simplificar el conexionado entre módulos y entre unidades**.
- El conector debería ser **estándar** y estar **disponible** en el laboratorio.
- El conector tendrá **un espaciado entre pines de 100 [mils] (2,54 [mm])** que es el que se usa en la fabricación de placas bicapa⁷ para montaje de componentes PDIP⁸ como son las que forman la unidad de dirección.

Para fijar ideas se mostrará una tabla en la que se describen los pines de los conectores con su número y señal en cada pin. Además se especificará la función de la señal: entrada (E), salida (S), ambas (B) o alimentación (A).

A. J1 Conector de programación

Por este conector se realiza la comunicación con el circuito programador/depurador ICD2 de la compañía microchip. **El conector** utilizado es **un RJ45** como el que se muestra a continuación:



Figura 4.17 Conector RJ45. Mono puerto

⁷ Se explicará que son las placas bicapa en el apartado 4.1 Introducción a los sistemas EDA

⁸ Los componentes PDIP (plastic dual in-line package) es un tipo de encapsulado para dispositivos electrónicos el cual se establece el espaciado entre pines (100 [mils] para esta tecnología) y se especifica el número de pines que contiene el encapsulado.

El cableado de los conectores es el que se muestra en la siguiente tabla:

Numero	Señal	Función
1	MCLR	E
2	SW1: Activar Programación	E
3	GND	A
4	PGC	B
5	PGD	B
6	No conectada	---

Tabla 12 Señales del conector J1. Conector de programación/depuración

B. J2 Conector de comunicaciones con el PC

El conector seleccionado para las comunicaciones es **un terminal de la serie AMP**. Este conector se seleccionó para múltiples sistemas del módulo de control. El conector dispone de un espaciado de 2,54 [mm] entre pines.



Figura 4.18 Conector AMP con un espaciado de 2,54 [mm]

Este conector únicamente tenía que transmitir **3 señales** ya **que transmite en modo diferencial** gracias al MAX1480B. Se utilizó un conector AMP de 3 pines y las señales se pueden ver en la siguiente tabla:

Numero	Señal	Función
1	A	S
2	ISO	A
3	B	S

Tabla 13 Señales del conector J2. Conector de comunicaciones con el PC

Se prestó especial atención a las comunicaciones a través de RS232 ya que sería conveniente evitar ruidos entre las señales, por ello es imprescindible el uso de un **par trenzado entre las señales A y B** y la señal **ISO** se utilizó **como tierra de comunicaciones**.

Este cable se dirige la **unidad de comunicaciones** (formado por el concentrador serie a USB) a través de un **conector SUBD⁹ de 9 posiciones**. El conexionado de este conector se aprecia en la siguiente tabla con la numeración que se aprecia en la Figura 4.19

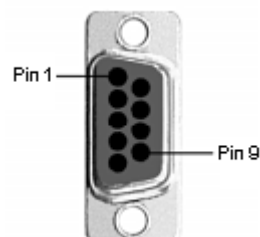


Figura 4.19 SUBD 9 posiciones

⁹ Un SUBD (sub miniature) son dos o más filas paralelas de pines, por lo general rodeados por un escudo metálico en forma de "D", que proporciona el apoyo mecánico y protección contra las interferencias electromagnéticas. La forma de "D" garantiza la orientación correcta en la conexión.

Numero	Señal	Función
1	A	B
2	B	B
5	ISO	A
3,4,6,7,8,9	Libres	---

Tabla 14 Conexión del cable del conector J2 al módulo de comunicaciones

C. J3 Comunicación con el joystick

Con este conector **se recibe la señal del joystick en modo diferencial y se envía alimentación** para su funcionamiento. **El cable** que envía las señales en modo diferencial es necesario que sea **trenzado** para evitar ruidos.

Numero	Señal	Función
1	JOYB	E
2	GND	A
3	JOYA	E
4	GND	A
5	12V	A

Tabla 15 Señales del conector J3. Conector de comunicaciones con el joystick

Con el posicionamiento de las señales se intentó separar las señales diferenciales de posibles ruidos con la alimentación del dispositivo.

D. J4 Conector del circuito de sensado

Este conector **informa del estado de la plataforma**. El conector seleccionado fue un conector **AMP de 5 pines**.

Numero	Señal	Función
1	SLND	E
2	AUT/MAN	E
3	BATNEG	A
4	VPOSPRT	A
5	VPOS (36V)	A

Tabla 16 Señales del conector J4. Conector del circuito de sensado

E. J5 Conector de comunicaciones con el módulo de potencia

El conector seleccionado fue un **header 5x2** como el mostrado en la Figura 4.20.



Figura 4.20 Header 5x2

El conexionado de los pines se realizó como se aprecia en la siguiente tabla:

Numero	Señal	Función
1,2	12V	A
3	PWMDIR	S
4	DPUENTE	S
5,6,9,10	GND	A
7	FCSUP	S
8	FCINF	S

Tabla 17 Señales del conector J5. Conector de comunicaciones con el módulo de potencia

F. J6 Circuito de comunicación con la tracción

El conector seleccionado fue un **header 5x2**. El conexionado de los pines es como se aprecia en la siguiente tabla:

Numero	Señal	Función
1	EDIR	S
2,3,4,6,7,10	GND	A
5	ETRCN	S
8	EDIRP	S
9	ETRCP	S

Tabla 18 Señales del conector J6. Conector de comunicación con la tracción

G. J7 Control de estado del sistema (LED's)

El conector seleccionado fue un conector **AMP de 4 pines**.

Numero	Señal	Función
1	5V	A
2	SLND	S
3	AUT/MAN	S
4	GND	A

Tabla 19 Señales del conector J7. Control del estado del sistema (LED's)

H. J8 y J9 Control de temperatura

Estos conectores son idénticos y son los encargados de **administrar la alimentación necesaria para mover los ventiladores.**

El conector seleccionado fue un conector **AMP de 2 pines.**

Numero	Señal	Función
1	VEN1	S
2	36V	A

Tabla 20 Señales del conector J8. Control de ventiladores 1 y 3

Numero	Señal	Función
1	VEN2	S
2	36V	A

Tabla 21 Señales del conector J9. Control de ventiladores 2 y 4

I. J10 Circuito de control del freno

Este conector está formado **por un pin** que controla la señal de activación del freno. Actualmente no tiene uso, ya que no se ha ideado la forma de controlar el

freno electrónicamente, aun así se ha incorporado en el diseño con idea de mejora del sistema en un futuro.

Numero	Señal	Función
1	FRN	S

Tabla 22 Señales del conector J10. Circuito de control del freno.

J. J11 (conector DB25) Circuito del encoder

Este conector es el **encargado de alimentar y recoger la información que envía el encoder.**

Se prestó especial atención a **evitar interferencias** entre las señales. Para ello se incorporó la señal de tierra (para apantallar) entre las **señales** que dieron más **problemas en la anterior plataforma (iCab1) que fueron STRB y PRTY.**

El orden de las señales en los pines aparece así simplificar el ruteado de las pistas del módulo de control y disminuir la longitud de los cables.

Estas modificaciones se realizaron cómodamente en Orcad gracias a la **compatibilidad entre Layout y Capture a través de la opción AutoECO.**

El conector es un DB25¹⁰ como se puede observar en la siguiente figura



Figura 4.21 Conector DB25

¹⁰ También se puede nombrar como SUBD25

Numero	Señal	Función
1	5V	A
2	FCINF	E
3	GND	A
4	ENC-02	E
5	ENC-05	E
6	GND	A
7	ENC-07	E
8	GND	A
9	ENC-10	E
10	GND	A
11	GND	A
12	GND	A
13	ENC-00	E
14	FCSUP	E
15	GND	A
16	ENC-03	E
17	ENC-04	E
18	ENC-06	E
19	GND	A
20	ENC-08	E
21	ENC-09	E
22	ENC-11	E
23	PRTY	E
24	STRB	E
25	ENC-01	E

Tabla 23 Señales del conector P1. Circuito del encoder

4.3 SEE pertenecientes al módulo de potencia

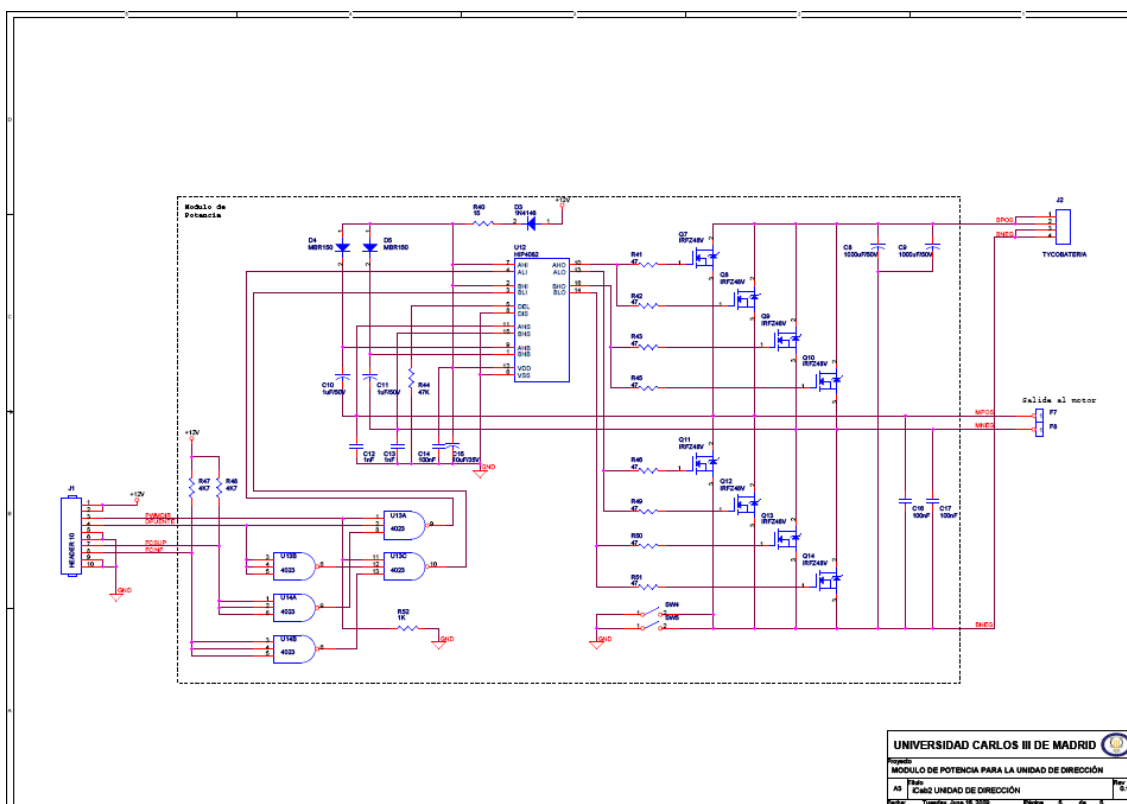


Figura 4.22 Esquemático del módulo de potencia

En el diseño realizado y montado en el iCab2 aparecen unos diodos de protección del driver de control del puente en H. Estos diodos se eliminaron finalmente en la fase de pruebas porque el sistema no era capaz de responder a la frecuencia a la que se excitaba.

Todo esto se comentará con mayor detalle en el apartado 5 Medidas experimentales y montaje, pero se ha presentado el esquemático actualizado (sin los diodos) para no inducir en confusiones al lector.

1. Circuito de alimentación

La alimentación del módulo de potencia **proviene del módulo de control**, siendo ésta de 12 [V] y de tierra 0[V] (Gnd).

2. *Comunicación con el módulo de control*

Del módulo de control provienen **dos señales** que son las **que generan la lógica** necesaria para el movimiento del puente, estas señales son: **DPUENTE y PWMDIR**.

DPUENTE se utiliza para **establecer el sentido de giro del motor**. Es una **señal TTL** que en estado alto marca el giro en **sentido horario** (5 [V] o un **"1" lógico**) y en estado bajo produce **el giro en sentido antihorario** (0[V] o un **"0" lógico**).

PWMDIR la genera el micro y es una **señal TTL modulada por ancho de pulso a 40 [MHz]** (velocidad del cristal de oscilación del micro).

Ambas señales las ofrece el micro como señales TTL pero la lógica de control que se verá en el apartado 4 está compuesta por unos circuitos integrados de tecnología CMOS que se alimentan a 12 [V]. Si bien, la entrada de una tecnología CMOS podría ser equivalente para la señal que anteriormente recibía un TTL con una alimentación común de 5 [V], al ser la alimentación de 12 [V] el nivel del **"1" lógico** necesario para activar el estado ronda los 8 [V]. En la fase de pruebas se comentará como se solucionó este problema de diseño.

3. *Finales de carrera*

Los finales de carrera **llegan al módulo de control y éste los envía al módulo de potencia** donde se adecuan a la tensión de 12 [V] con las resistencias de pull-up.

La finalidad de las resistencias de pull-up en el módulo de potencia es evitar problemas al perder señales por un problema con el conexionado entre módulos de control y potencia y de los finales de carrera directamente, en ese caso, se obtendría un **"1" lógico** directamente, siendo la lógica la que estableciese que el motor no puede girar.

4. *Lógica de control*

La lógica de control la forman **dos circuitos integrados de puertas nand de 3 entradas**.

Una puerta nand funciona de la siguiente forma:

Entrada			Salida
A	B	C	
0	0	0	1
1	X ¹¹	X	0
X	1	X	0
X	X	1	0

Tabla 24 Funcionamiento de una puerta nand de 3 entradas

El circuito integrado seleccionado es un **MIC14023BCP** de la compañía ON Semiconductors.

Sus características más importantes son

Tensión de funcionamiento	(3 18)[V]
Potencia disipada	500 [mW]
Temperatura de funcionamiento	(−55 125) [°C]
Encapsulado	PDIP 14

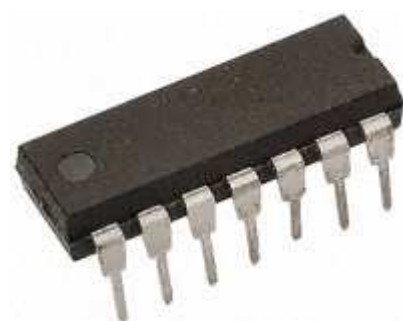


Tabla 25 Características MIC14023BCP

El diseño de la lógica de control es el mismo que se diseño para el iCab1 y, puesto que se comprobó su correcto funcionamiento, se ha mantenido sustituyendo la tecnología TTL por tecnología CMOS.

La misión principal de esta lógica es **evitar daños en los elementos mecánicos** producidos por malfuncionamientos software o hardware. Este malfuncionamiento podría realizar movimientos en el sentido de giro en el que un final de carrera estuviese pisado. Además de la protección permiten la selección del sentido de giro del motor.

El esquema de la lógica de control se puede observar en la Figura 4.23

¹¹ X denota cualquier valor en esa señal: "0" o "1".

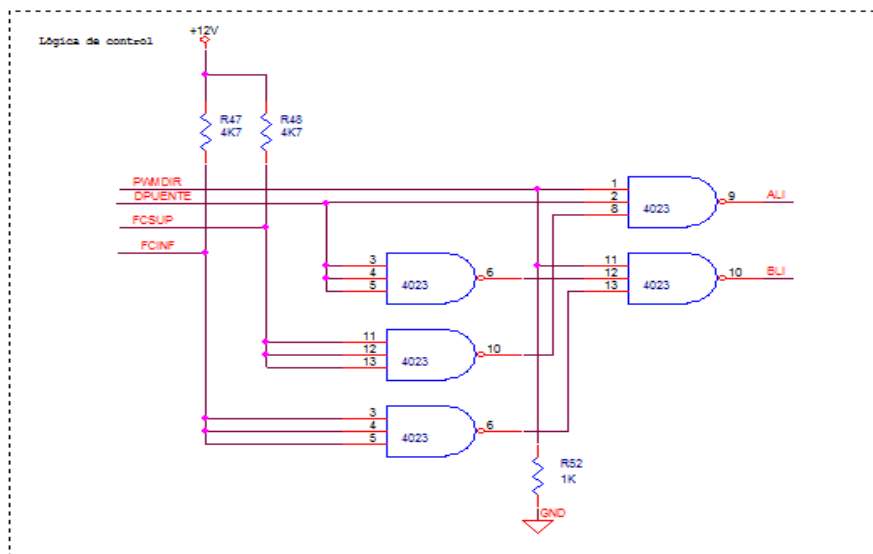


Figura 4.23 Lógica de control

Las salidas obtenidas de la lógica de control con las distintas entradas se muestran a continuación:

- Si se tiene un “1” en FCSUP y en FCINF el sistema se encuentra en un estado anómalo. Ha podido ser ocasionarlo por un fallo en el cable de conexión, un fallo en los finales de carrera o un fallo en la lógica de control. En este caso a la salida se obtiene ALI “0” y BLI “0”

- Si se tiene DPUNTE a “1” (sentido horario) y un “1” en FCSUP no es posible el movimiento, porque esta pisado un final de carrera, independientemente que PWMDIR genere una señal o no.

Si por el contrario FCSUP está a “0” y, aunque este FCINF a “0” o “1”, si se dispone de una señal modulada por ancho de pulso en PWMDIR, la lógica genera un “1” en ALI y una señal complementaria del ciclo de trabajo de la señal PWMDIR.

Esta señal se genera así porque el driver de control del puente de mosfets se activa a nivel bajo.

Este caso permite el movimiento en sentido horario si no hay ningún final de carrera pisado o si esta pisado el FCINF (para poder salir de esa posición).

- Si se tiene DPUENTE a “0” (sentido antihorario) y a un “1” en FCINF no se puede generar movimiento porque el sistema se encuentra con un final de carrera hardware activado, independientemente que PWMDIR generase una señal o no. Si por el contrario FCINF está a “0” y, aunque este FCSUP a “0” o “1”, si se dispone de una señal modulada por ancho de pulso en PWMDIR la lógica genera un “1” en ALI y una señal complementaria del ancho de pulso que recibiese de PWMDIR. Este caso permite el movimiento en sentido horario si no hay ningún final de carrera pisado o si esta pisado el FCINF (para poder salir de él).

5. Control del puente en H

El control del puente en H **lo realiza un circuito integrado HIP4082** a través de las señales que le llegan por ALI y BLI de la lógica de control. Las características a destacar del driver se muestran a continuación:

Frecuencia de funcionamiento	≤ 200 [MHz]
Tiempo muerto programable	(0,1;4,5) [μ s]
Salidas independientes para el control en puente completo o medio puente de 4 mosfet tipo n	

Tabla 26 Características Hip4082

En la práctica, al usar un puente en H, es necesario dejar un **tiempo muerto entre la excitación de una rama y otra**. Esto lo produce no disponer de una carga resistiva pura (el motor tiene una componente inductiva no despreciable para este efecto) que podría ocasionar un corte entre la alimentación y tierra. Se puede apreciar gráficamente en qué consiste el “*tiempo muerto*” en la Figura 4.24

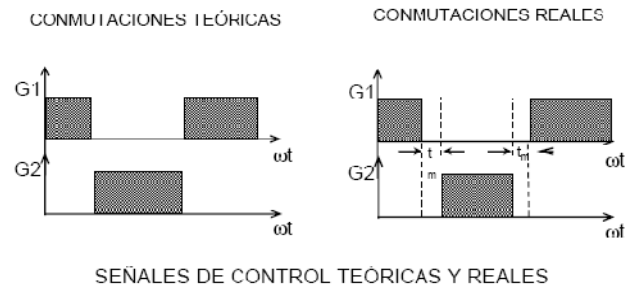


Figura 4.24 Tiempo muerto teórico

El driver seleccionado tiene un tiempo muerto programable. El tiempo debe elegirse se define en función de las características de tiempos de cambio del transistor y de la carga que se pretenda mover.

Las resistencias necesarias para generar los distintos retardos en μs aparecen a continuación:

TURN-ON DELAY PIN DEL							
Dead Time	T_{DEAD}	$R_{\text{DEL}} = 100\text{K}$	2.5	4.5	8.0	2.0	8.5 μs
		$R_{\text{DEL}} = 10\text{K}$	0.27	0.5	0.75	0.2	0.85 μs

Tabla 27 Características tiempo muerto conmutación del HIP4082

La resistencia R_{DEL} finalmente seleccionada es de 47 $[\text{K}\Omega]$ por lo que el tiempo para evitar el corto por la rama será, suponiendo la respuesta lineal, aproximadamente de 4,5 $[\mu\text{s}]$. El driver es capaz de gestionar señales de entrada de 200 $[\text{MHz}]$ y, el micro, genera la señal a 40 $[\text{MHz}]$ con lo que este factor no dará problemas de funcionamiento.

6. Puente en H

El esquema del puente en H se puede ver en la siguiente figura:

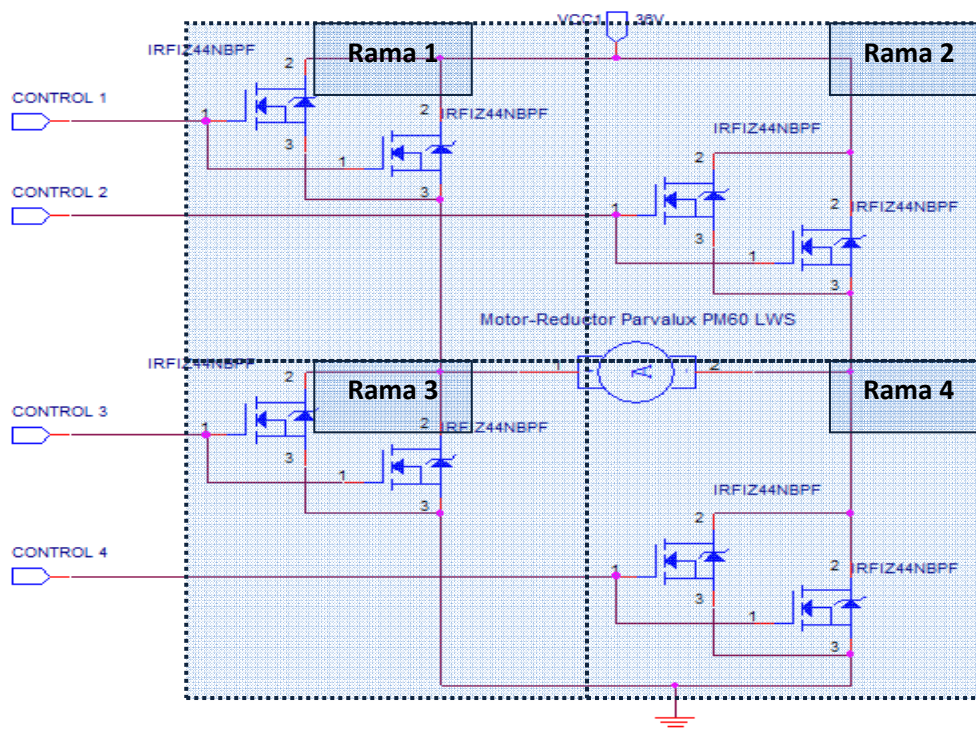


Figura 4.25 Puente en H

Los transistores aparecen en paralelo para disminuir la resistencia equivalente (R_{Dson}). Si se suponen en conducción, al aparecer dos resistencias iguales y en paralelo, y se calcula la resistencia equivalente del conjunto se obtiene que la resistencia se reduce a la mitad.

Esta forma de colocarlos **puede producir problemas por diferencias de corriente entre ellos** y, a su vez, incrementos de temperatura que sobrepasen los límites del encapsulado. En visión general se planteó:

- El rediseño con transistores fácilmente paralelizables.
- El cambio de transistores a otros con mejores prestaciones.
- Pedir transistores macheados.

No **se ha modificado el diseño** ya que, **durante el funcionamiento del módulo de potencia del iCab1**, no se ha producido sobrecalentamientos o desviaciones de comportamiento normal que hayan sugerido un cambio. Sin embargo si se ha seleccionado el transistor que ha surgido del mantenimiento del iCab1, los transistores originales eran IRFZ48V y se sustituyeron por **IRFIZ44NBPB**¹² (ambos de la compañía International Rectifier).

¹² Se usará a partir de ahora la referencia reducida del componente IRFIZ44N.

En este momento, en el que se ha visto como actúa el driver, se comentará como las ramas se activan en su funcionamiento:

- **No se genera movimiento:** se tienen activadas **las ramas 1 y 2** manteniendo la carga (en nuestro caso el motor) sin una diferencia de potencial sus bornes.
- **Se genera un movimiento en sentido horario:** se alterna la excitación entre las ramas **1-4 y 1-2** de acuerdo a la señal PWM que le llega.
- **Se genera un movimiento en sentido antihorario:** se alterna la excitación entre las ramas **2-3 y 1-2** de acuerdo a la señal PWM que le llega.

El funcionamiento en la fase de pruebas se verá en el apartado 5.1.2

7. Motor

El motor tiene un consumo de 210 [W], el cual es **alimentado por las baterías** a la tensión que marca el fabricante de la plataforma original, que son **36 [V]** (6 baterías de 6 [V] en serie).

En la práctica se ha comprobado que **esta tensión varía entre los 28 [V] cuando las baterías están prácticamente descargadas y los 40 [V] cuando el sistema esta a plena carga**. Este efecto puede ser considerable a la hora de cálculo de corrientes y ancho de pistas por lo que se tomó un margen de seguridad.

Para los cálculos se partió de la hipótesis de una tensión de baterías constante y de valor 36[V]; con lo que, con el motor trabajando a potencia máxima, se podían obtener las necesidades de corriente para dimensionar el cableado, las pistas y los conectores de las placas:

$$P = V \cdot I$$

$$I = \frac{P}{V} = \frac{210 [W]}{36 [V]} = 5,83 [A]$$

En el caso práctico (teniendo en cuenta el factor de la carga de las baterías) se obtuvo que el rango de corrientes oscila entre los (5,25|7,5) [A].

Los elementos que van a proporcionar el control de la alimentación del motor son los transistores. En los siguientes epígrafes se va a desarrollar los cálculos teóricos de potencia que disipan los mismos, así como el disipador necesario para evacuar el calor generado por ellos.

- **Transistor**

El **transistor** que finalmente se ha seleccionado **es el IRFIZ44N**, que, en comparación con el transistor inicial de aquella plataforma, presenta ciertas mejoras:

- **Esta aislado eléctricamente:** la primera versión del módulo de control montaba los transistores de las ramas sobre un mismo disipador a través de un tornillo metálico lo cual podría inducir el corte de una rama con la transición de los mosfets entre sus estados de funcionamiento (Corte y Saturación). En la referencia del transistor se puede observar por la i que aparece en la referencia que hace mención a su aislamiento (isolated).
- **Se han mejorado las prestaciones de R_{DSon}** al escoger un transistor más cercano al rango de alimentación.
En la referencia se puede apreciar al pasar de 48 al 44.
- El transistor escogido **está fabricado sin plomo** lo cual es beneficioso para el medio ambiente.
En la referencia se puede observar con el BPF. En posteriores menciones al transistor se omitirá el final de la referencia nombrándolo simplemente como IRFIZ44N.

Otra razón por la que se seleccionó fue para **disminuir el stock de reparación en caso de fallo para las plataformas iCab.**

Las características del datasheet proporcionado por International Rectifier son:

V_{DSS}	55 [V]
R_{DSon}	0,024 [Ω]
I_D	31 [A]
T_J	(-55, 175) [$^{\circ}\text{C}$]

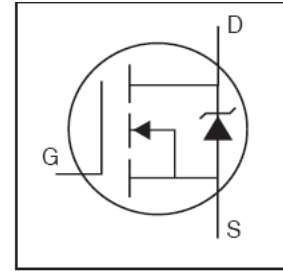


Tabla 28 Características Mosfet IRFIZ44N

Comparando estas características con las especificaciones de la aplicación se observa que los transistores se encuentran dentro de su rango de funcionamiento y que, despreciando en este momento la disipación necesaria para que no fallen, son validos para mover la carga: el motor.

El transistor, por el hecho de conducir corriente y de actuar como interruptor (pasar de corte a conducción), sufre un incremento de temperatura debido a la potencia que genera en su funcionamiento. Esta potencia produce una temperatura que es crítico controlar para evitar problemas en los elementos y evitar siempre que exceda los límites de funcionamiento para el encapsulado.

En el encapsulado de un transistor se pueden reconocer distintas regiones en las cuales se presenta una temperatura distinta.

En la Figura 4.26 se puede apreciar las distintas regiones (de forma esquemática) de un encapsulado TO220 que es en el que se fabrica el transistor.

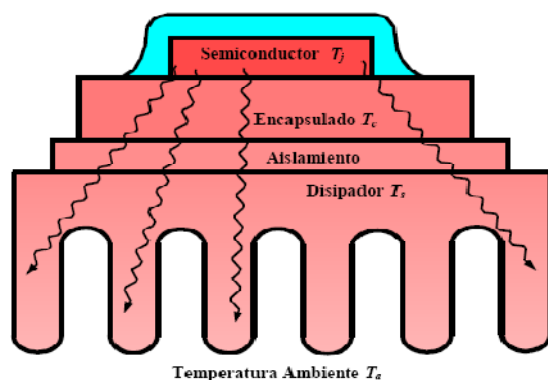


Figura 4.26 Esquemático de zonas de mosfet montado sobre disipador

Uno de los criterios de diseño para realizar los cálculos es seleccionar una **temperatura de funcionamiento en el semiconductor T_J** . En este caso se va a seleccionar:

$$T_J = 90[^\circ\text{C}]$$

Si se compara esta temperatura con las características del transistor en la (Tabla 28 Características Mosfet IRFIZ44N) se puede ver que el elemento se encuentra en su rango de funcionamiento para T_J .

Esta temperatura en la unión podría ser superior como se puede ver en la Figura 4.27 pero se seleccionó así para incrementar el tiempo de vida del componente. Esta figura es tomada del datasheet del IRFIZ44N y refleja la variación de la $R_{DS(on)}$ en función de la temperatura en la unión.

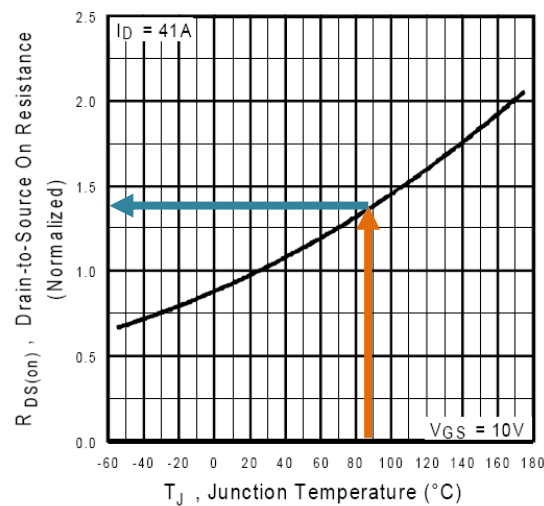


Figura 4.27 $R_{DS(on)}$ frente a T_J para el mosfet IRFIZ44N

Se conoce el valor de $R_{DS(on)}$ para una temperatura T_J de 25 [°C] y **debe ser referida a la temperatura de funcionamiento** que se seleccionó, para ello se recurre a la figura anterior:

$$R_{DS(on)} [T_J = 90[^\circ\text{C}]] = 0.024 [\Omega] \cdot 1,4;$$

$$R_{DS(on)} = 0,0336 [\Omega]$$

Para calcular las corrientes que se producen en el movimiento del motor en sentido horario y en sentido antihorario se recalculara la corriente que recorre la rama de

funcionamiento para un sentido de giro: en sentido horario sería la rama 1-3 y en sentido antihorario sería la rama 2-4.

Por la simetría del puente se puede suponer que, si el ciclo de trabajo es el mismo para la excitación de los elementos de la rama, las corrientes serán las mismas, con lo que se calculara únicamente para el sentido horario (rama 1-4) y se usara ese valor obtenido para el sentido antihorario (rama 2-3).

Se va a calcular la resistencia equivalente del motor¹³

$$R = \frac{V}{I} = \frac{36 [V]}{5,83 [A]} = 6,17[\Omega]$$

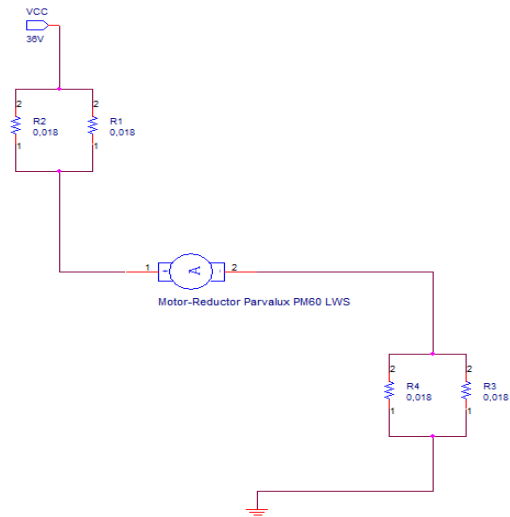


Figura 4.28 Cálculo de resistencias y corrientes.
Movimiento en sentido horario

Si se recalcula la corriente para el conjunto:

$$I = \frac{36 [V]}{(33.6[m\Omega] // 33.6[m\Omega] + 6,17[\Omega] + 33.6[m\Omega] // 33.6[m\Omega])} = 5,804[A]$$

La corriente que pasa por cada transistor se obtiene aplicando un divisor de corriente como el de la Figura 4.29

¹³ Para este cálculo no se tendrá en cuenta el carácter inductivo el motor. Para que el cálculo fuese correcto deberíamos obtener el valor de la inductancia y realizar los cálculos con impedancias en lugar de resistencias puras.

No obstante por los órdenes de magnitud típicos de resistencia/inductancia de los motores el resultado final se puede considerar correcto en un estado estacionario.

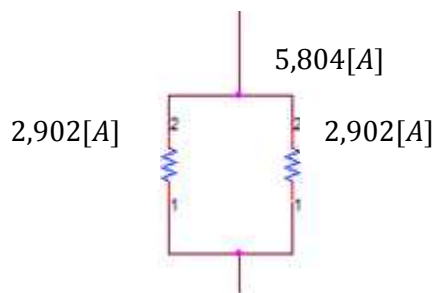


Figura 4.29 Divisor de corrientes semiciclo positivo

$I_{\text{Transistor}}$	2,902 [A]
Frecuencia de funcionamiento	40 [Khz]
V_{DS}	$I_{\text{Transistor}} \cdot R_{\text{DSon}} = 97,5072 \text{ [mV]}$

Tabla 29 Resumen de propiedades de funcionamiento para el mosfet

En este momento se debe realizar una apreciación: se dispone de dos transistores en paralelo por cada una de las ramas, que hacen que la corriente por cada uno de ellos sea (teóricamente) la mitad. A efectos térmicos ambos transistores (de cada rama) están montados sobre el mismo disipador.

Para el cálculo de potencias necesarias a disipar y resistencias térmicas se eligió un elemento que está formado por los transistores que forman una rama (a partir de aquí se usara la rama 1 y se extrapolara a la 4 suponiendo un sentido de giro del motor horario; estos cálculos serán análogos a los producidos en el sentido antihorario para la ramas 2 y 3).

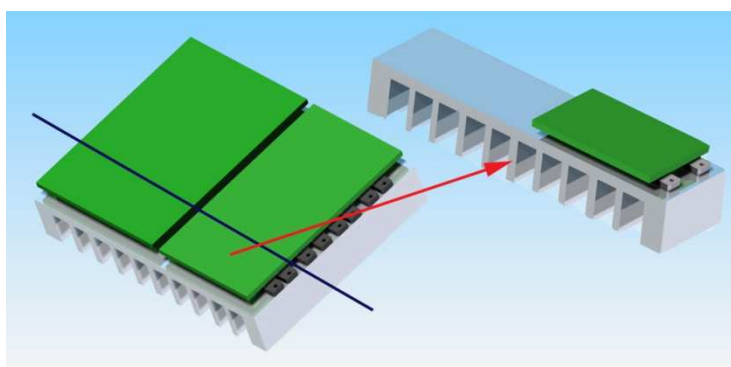




Figura 4.30 Elemento de cálculo de la rama 1

Si bien, **el módulo de control y el resto de elementos del módulo de potencia disipan calor, este es despreciable en comparación** a la potencia que disipan los **transistores**.

Hay que matizar que, aunque a efectos de cálculo, se va a suponer que la temperatura en el contacto entre el transistor y el disipador es la misma, en verdad, no lo es, puesto que depende de la distancia a la que se encuentre del contacto térmico físico entre el transistor y el disipador.

El **transistor** presenta **dos vías para disipar potencia** y son: **por conmutación y por conducción**.

- Mosfet IRFIZ44N: perdidas en conmutación

Para obtener las perdidas en conmutación se debe recurrir al datasheet del mosfet y obtener los datos referentes a los tiempos de conmutación

$t_{d(on)}$	Turn-On Delay Time	---	7.3	---	ns
t_r	Rise Time	---	69	---	
$t_{d(off)}$	Turn-Off Delay Time	---	47	---	
t_f	Fall Time	---	60	---	

Tabla 30 Tiempos de conmutación para el transistorIRFIZ44N

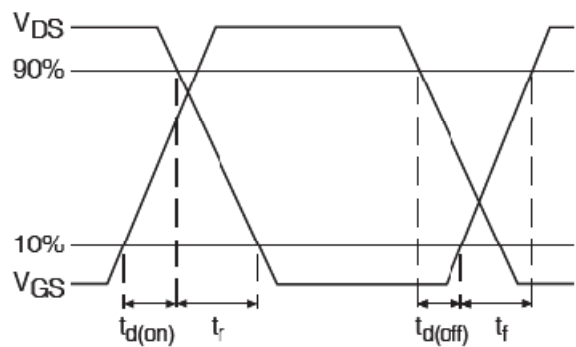


Figura 4.31 Representación de los tiempos de conmutación para el transistor IRFZ44N

Las pérdidas se pueden dar producir en dos momentos: en el encendido y en el apagado.

$$P_{SWonRAMA1} = \frac{f \cdot V_{DS} \cdot I_D \cdot (t_{d(on)} + t_r)}{2} = 432 \text{ [mW]}$$

$$P_{SWoffRAMA1} = \frac{f \cdot V_{DS} \cdot I_D \cdot (t_{d(off)} + t_f)}{2} = 606 \text{ [mW]}$$

Si se realiza un análisis de sensibilidad en función de la tensión variable de alimentación de las baterías se obtiene que:

Tensión de las baterías	28[V] Mínima	36[V] Típica	40[V] Máxima
$P_{SWonRAMA1}$	671 [mW]	863 [mW]	959 [mW]
$P_{SWoffRAMA1}$	471 [mW]	606 [mW]	673 [mW]
$P_{SWtotalRAMA14}$	2284 [mW]	2938 [mW]	3264 [mW]

Tabla 31 Análisis pérdidas en conmutación

- Mosfet n IRFZ48: pérdidas en conducción

Las pérdidas en conducción se pueden calcular como:

$$P_{Conducción} = R_{DSon} \cdot I_{ef}^2$$

Suponiendo el caso de la tensión de alimentación variable con la carga de las baterías, se pueden observar en la siguiente tabla:

Tensión de las baterías	28[V] Mínima	36[V] Típica	40[V] Máxima
$P_{ConducciónRAMA1}$	366 [mW]	606 [mW]	747 [mW]
$P_{ConducciónRAMA14}$	732 [mW]	1212 [mW]	1494 [mW]

Tabla 32 Análisis sensibilidad pérdidas en conducción

Sentido de Giro		Tensión de alimentación de las baterías			Potencia
		28[V] Mínima	36[V] Típica	40[V] Máxima	
Horario	Movimiento de la Rama14	671 [mW]	863 [mW]	959 [mW]	$P_{SWonRAMA1}$
		471 [mW]	606 [mW]	673 [mW]	$P_{SWoffRAMA1}$
		2284 [mW]	2938 [mW]	3264 [mW]	$P_{SWtotalRAMA14}$
		366 [mW]	606 [mW]	747 [mW]	$P_{ConducciónRAMA1}$
		732 [mW]	1212 [mW]	1494 [mW]	$P_{ConducciónRAMA14}$
		1,037 [W]	1,469 [W]	1,706 [W]	$P_{TotalesRAMA1}$
		3,321 [W]	4,407 [W]	4,758 [W]	$P_{TotalesRAMA14}$

Tabla 33 Resumen de potencia disipada por la rama 14. Movimiento Horario.

Sentido de Giro		Tensión de alimentación de las baterías			Potencia
		28[V] Mínima	36[V] Típica	40[V] Máxima	
Antihorario	Movimiento de la Rama23	671 [mW]	863 [mW]	959 [mW]	$P_{SWonRAMA2}$
		471 [mW]	606 [mW]	673 [mW]	$P_{SWoffRAMA2}$
		2284 [mW]	2938 [mW]	3264 [mW]	$P_{SWtotalRAMA23}$
		366 [mW]	606 [mW]	747 [mW]	$P_{ConducciónRAMA2}$
		732 [mW]	1212 [mW]	1494 [mW]	$P_{ConducciónRAMA23}$
		1,037 [W]	1,469 [W]	1,706 [W]	$P_{TotalesRAMA2}$
		3,321 [W]	4,407 [W]	4,758 [W]	$P_{TotalesRAMA23}$

Tabla 34 Resumen de potencia disipada por la rama 23. Movimiento Antihorario.

- **Resistencia térmica del disipador necesaria para garantizar funcionamiento**

Se puede apreciar cuales son las resistencias térmicas que aparecen en la transferencia de calor del encapsulado TO220.

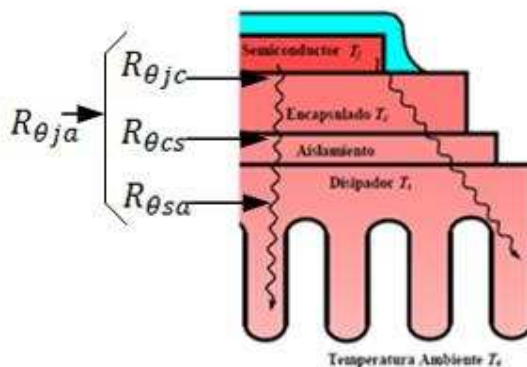


Figura 4.32 Resistencias térmicas del TO220 al ambiente a través del disipador

Si se utiliza un sistema de resistencias térmicas equivalentes para calcular las temperaturas y la potencia térmica transferida se obtiene:

$$R_{\theta ja} = R_{\theta jc} + R_{\theta cs} + R_{\theta sa}$$

Ecuación 1 Resistencias térmicas para el sistema TO220 ambiente

A continuación se verá cuál es el significado de las temperaturas que aparecen en el dibujo anterior

T_j	Es la temperatura de la unión del semiconductor
T_c	Es la temperatura del encapsulado
T_s	Es la temperatura disipador
T_a	Es la temperatura ambiente del medio exterior

Tabla 35 Significado de las temperaturas en el esquema de resistencias térmicas

Donde se pueden resumir las características de las resistencias térmicas en la siguiente tabla

$R_{\theta ja}$	Es la resistencia térmica del semiconductor al ambiente	$65 \left[\frac{^{\circ}\text{C}}{\text{W}} \right]$
$R_{\theta jc}$	Es la resistencia térmica debida a mecanismos e transferencia de calor por conducción entre el silicio y el encapsulado del dispositivo.	$3,3 \left[\frac{^{\circ}\text{C}}{\text{W}} \right]$
$R_{\theta cs}$	Es la resistencia térmica debida a mecanismos e transferencia de calor por conducción entre el encapsulado del dispositivo y el disipador. Aunque luego se comentará la suponemos únicamente como la conductividad térmica de la pasta de silicona.	$0,46 \left[\frac{^{\circ}\text{C}}{\text{W}} \right]$
$R_{\theta ja}$	Es la resistencia térmica debida a mecanismos de transferencia de calor por mecanismos de convección y radiación entre el disipador y el ambiente.	---

Tabla 36 Resumen de resistencias térmicas implicadas en la transferencia de calor

El **esquema de resistencias térmicas completo** sería, debido a la disposición final del conjunto:

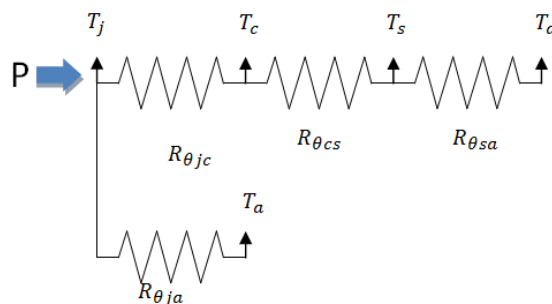


Figura 4.33 Esquema de resistencias térmicas completo

La ecuación del sistema aparece en la Ecuación 2

$$T_j = P_D \cdot (R_{\theta jc} + R_{\theta cs} + R_{\theta sa}) / (R_{\theta ja}) + T_a$$

Ecuación 2 Temperatura entre unión y ambiente

Las características de diseño en relación a la temperatura de operación son:

T_j	90 [°C]	Del datasheet del transistor (−55 175) [°C]
T_a	35[°C]	Es una temperatura ambiente cálida para hacer más robusto el diseño

Tabla 37 Características de diseño en relación a la temperatura de operación

Se van a calcular las temperaturas en función de la potencia calculada en la Tabla 33 y del esquema de resistencias térmicas que se ha planteado anteriormente.

La resistencia equivalente del disipador $R_{\theta sa}$, que mantendría en **estado estacionario** (referenciado al elemento que se presentó en la Figura 4.30) el sistema, entre las temperaturas de diseño, para la tensión de las baterías que depende de la carga.

$$T_j = P_D \cdot (R_{\theta jc} + R_{\theta cs} + R_{\theta sa}) // (R_{\theta ja}) + T_a$$

$$(R_{\theta jc} + R_{\theta cs} + R_{\theta sa}) // (R_{\theta ja}) = \frac{(R_{\theta jc} + R_{\theta cs} + R_{\theta sa}) \cdot R_{\theta ja}}{(R_{\theta jc} + R_{\theta cs} + R_{\theta sa} + R_{\theta ja})}$$

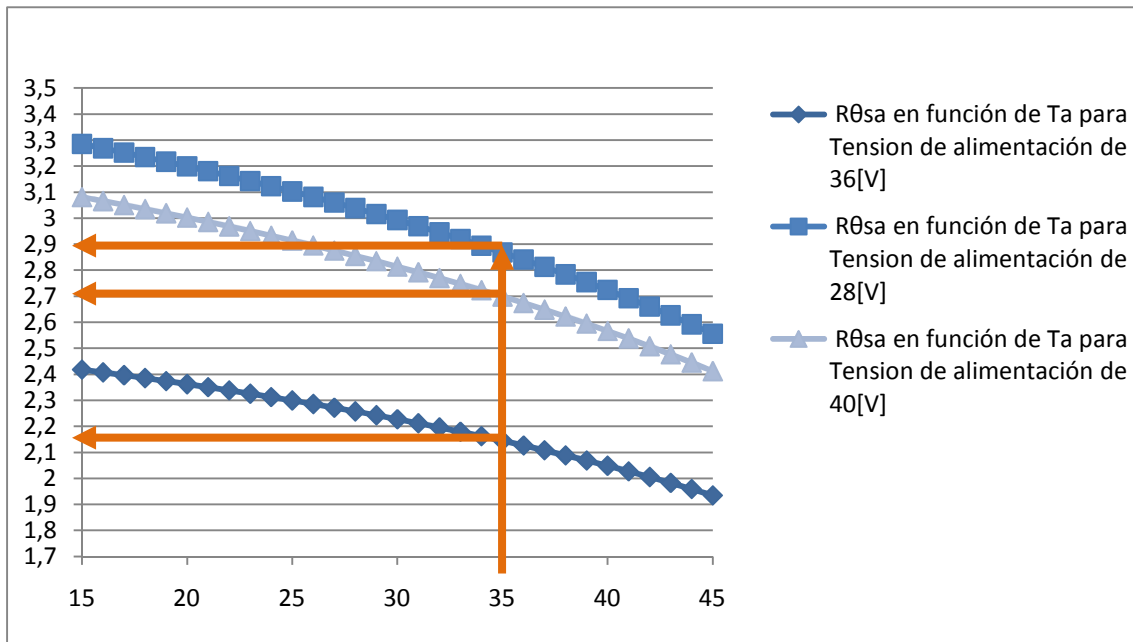
$$T_j = P_D \cdot \frac{(R_{\theta jc} + R_{\theta cs} + R_{\theta sa}) \cdot R_{\theta ja}}{(R_{\theta jc} + R_{\theta cs} + R_{\theta sa} + R_{\theta ja})} + T_a$$

Se deja **en función de $R_{\theta sa}$ y T_a** para ver cuál es la diferencia de resistencia térmica necesaria, ya que el valor de 35[°C] ha sido arbitrariamente seleccionado.

$$R_{\theta sa} = \frac{(R_{\theta jc} + R_{\theta cs} + R_{\theta sa}) \cdot \frac{(T_j - T_a)}{P_D \cdot R_{\theta ja}} - (R_{\theta jc} + R_{\theta cs})}{1 + \frac{(T_j - T_a)}{P_D \cdot R_{\theta ja}}}$$

Ecuación 3 $R_{\theta sa}$ en función de T_a

En la siguiente grafica se aprecia como varia la resistencia térmica del disipador en función de la temperatura ambiente:

Figura 4.34 $R_{\theta sa}$ en función de T_a

Para $T_a = 35$ [°C] se tiene que $R_{\theta sa}$ varía entre $(2,22|3,01) \left[\frac{^{\circ}\text{C}}{\text{W}} \right]$

La temperatura en el encapsulado en el caso más desfavorable se obtiene que es:

$$T_c = P_D \cdot (R_{\theta cs} + R_{\theta sa}) + T_a = 4,758 \cdot (0,46 + 3,01) + 35$$

$$T_c = 51,51 \text{ [}^{\circ}\text{C]}]$$

Esta temperatura implica que **si se tocara el disipador** en la zona de contacto con el transistor estaría a una temperatura límite para producir quemaduras sobre la piel (esta temperatura límite ronda los 50 [°C]). Este caso es el extremo porque: implicaría que el motor ha trabajado “en oscilaciones” (de un lado a otro moviendo las ruedas) con un ciclo de trabajo del 100 % para conseguir un estado estacionario a esa temperatura, en la práctica un ciclo normal de operación del iCab está comprendido entre el (20|60)% y el tiempo de funcionamiento de las ruedas no llega a cubrir más del 20% (en relación con el tiempo que se encuentran paradas) con la considerable reducción de temperatura en su estado estacionario que ello implicaría.

Todo ello **confirma la hipótesis inicial: el disipador está sobredimensionado** para la aplicación, pero, como ya se comentó anteriormente, en el diseño se planteó como elemento de soporte de la electrónica de la unidad de dirección.

Para todos estos cálculos se está suponiendo que **la superficie del transistor** está en condiciones ideales y por eso hemos usado su $R_{\theta ja}$; en realidad se deberían de tener en cuenta los **factores** que comentamos a continuación:

- El contacto presenta rugosidad.
- El contacto tiene un ligero pandeo entre superficies.

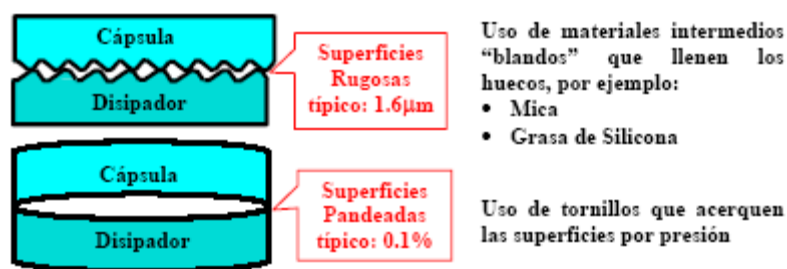


Figura 4.35 Efecto de las no idealidades sobre la transferencia de calor

Para **solucionar** las rugosidades e irregularidades de las superficies se empleará tanto **pasta térmica de silicona** (para rellenar los huecos) como un **tornillo que ejerza presión y las acerque**. No hay forma de calcular estos defectos de montaje teóricamente, es por ello que se utiliza un factor de seguridad en todos los diseños.

8. Conectores módulo de control

A. J1 Circuito de comunicaciones con el módulo de control

El conector seleccionado es un **header 5x2** como el mostrado en la Figura 4.20. El conexionado de los pines se aprecia en la siguiente tabla:

Numero	Señal	Función
1,2	12V	A
3	PWMDIR	S
4	DPUENTE	S
5,6,9,10	GND	A
7	FCSUP	S
8	FCINF	S

Tabla 38 Señales del conector J5. Conector de comunicaciones con el módulo de potencia

B. J2 Conector de potencia

Este conector debía **cumplir** los **requisitos de tensión y corriente** para la aplicación, ya que es el encargado de dar alimentación al puente en H y este, a su vez, al motor.

Se buscaron soluciones comerciales para este conector y finalmente se seleccionaron los conectores de la **compañía TycoElectronics** de la **serie AMP de conectores de potencia** (conectores para aplicaciones de **más de 10[A]**). Los números de identificación (part number) de los componentes son: 556879-2 y 556881-2 para el conector del cable y para el conector de la placa PCB respectivamente.

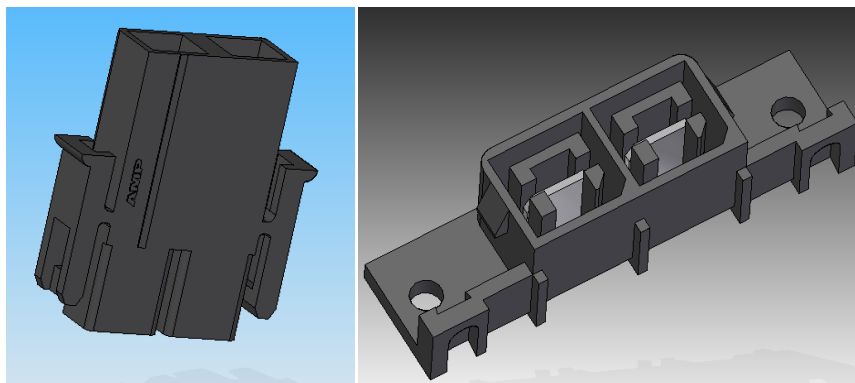


Figura 4.36 Conectores Tyco 556879-2 (izquierda) 556881-2 (derecha)

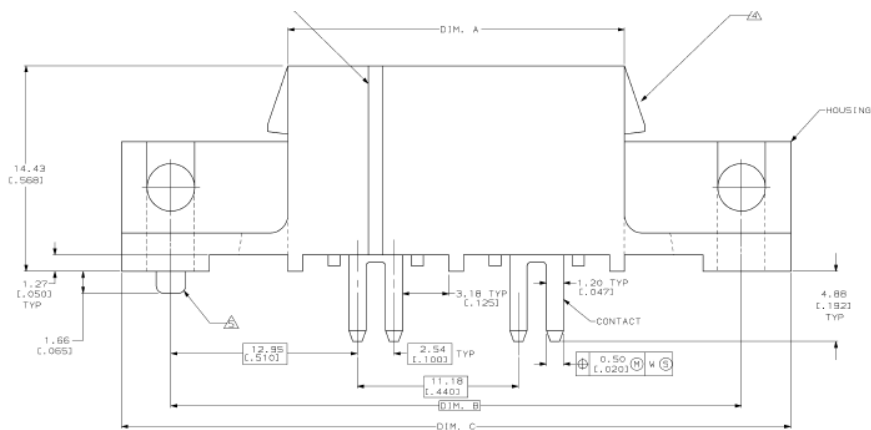


Figura 4.37 Detalle del conector a la placa de potencia

Se buscaba con este componente un **espaciado entre los terminales** amplio y en este caso tenemos **440 [mils] (11,18[mm])** cumpliendo las especificaciones de corriente (permite corrientes de 12 [A] y el sistema, en el peor de los casos, no consume 10 [A]).

En la práctica **el componente ha sido adaptado**¹⁴ a la placa en tamaño ya que, por las características de la ubicación que tendrá (diseño de la guantera), el tamaño excedía el del permitido por el montaje.

En el conector que aparece en la placa de potencia se le han **eliminado las aletas de anclaje** para reducir el tamaño del conjunto. En la figura siguiente se puede observar como ha quedado finalmente.

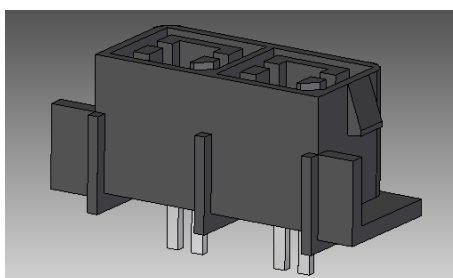


Figura 4.38 Conector J2 modificado

Al **conector aéreo** se le ha realizado también una ligera **modificación para reducir la altura** del conjunto y poder sacar por el lateral los cables orientados a la zona en la que se ubican en la guantera.

¹⁴ Las modificaciones físicas realizadas al componente se pueden apreciar en Anexo F: Plano de Modificación de los Conectores de Potencia.

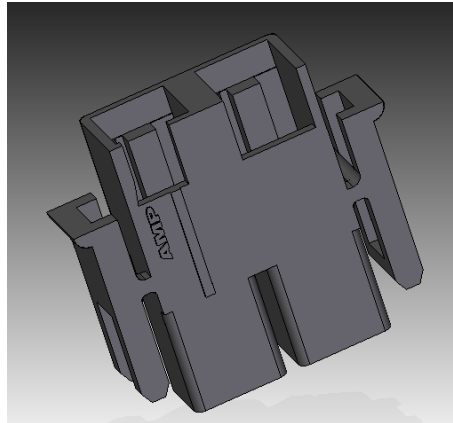


Figura 4.39 Conector aéreo J2 modificado

Este conector necesita **unos pines de potencia**, se han seleccionado el 556135-1 y se pueden apreciar en la siguiente figura:



Figura 4.40 Conectores de potencia

Finalmente se muestran las señales de los pines

Numero	Señal	Función
1,2	36V (BPOS)	A
3,4	GND (BNEG)	A

Figura 4.41 Señales del conector J2. Conector de potencia

Estos conectores (el de placa, el aéreo y los terminales) aunque se han obtenido como muestras gratuitas (samples) en la página de TycoElectronics, en el momento de hacer el presupuesto, se tomaran los precios del distribuidor de componentes electrónicos RS en agosto del 2009.

4.4 Diseño del PCB

La **placa de circuito impreso (PCB Printed Circuit Board)** es, básicamente, un **soporte para un circuito electrónico**. Consta de un material base, aislante, sobre el que se disponen pistas conductoras, generalmente de cobre, que conforman el conexionado entre los distintos componentes.

En general la **PCB consta de dos caras**:

- En una de ellas, la llamada **cara de componentes** (superior o **“top”**), se colocan los **componentes** mediante la **inserción** de sus **patillas** en agujeros pasantes, llamados taladros (**“dril”**) (también se pueden colocar sin necesidad de agujeros pasantes: son los llamados componentes de montaje superficial **“SMD”**).
- La otra cara llamada **cara de soldadura** (inferior o **“bottom”**), incorpora las **pistas de cobre** que **unen** las distintas **patillas de los componentes**; es en esta cara donde se realiza la unión o soldadura de la patilla con la pista de cobre: son los llamados **PCB monocapa**.

Con la incorporación de la tecnología de montaje superficial (SMT: *superficial Mount Technology*) la colocación de componentes no se ciñe a solo a la cara de componentes sino que se colocan también en la soldadura, aumentando así la densidad de componentes en la misma área de placa.

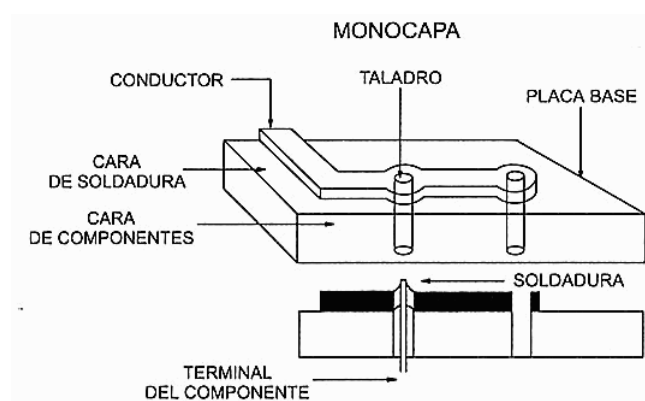


Figura 4.42 Perfil de una placa monocapa

La PCB del circuito que **se ha fabricado es una bicapa** puesto que tenemos una cara superior (top) y otra inferior (bottom) y unos **agujeros pasantes metalizados**.

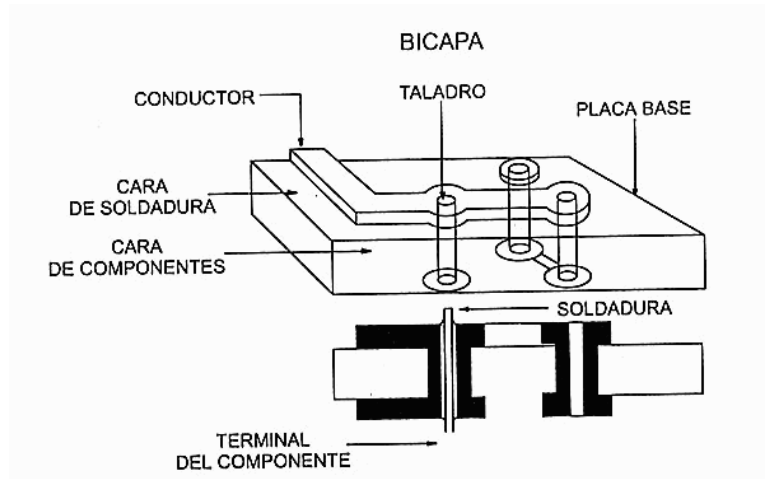


Figura 4.43 Perfil de una placa bicapa

4.4.1 Introducción al Layout

La herramienta de OrCAD para la realización de circuitos impresos es el **Layout**. Mediante OrCAD Capture dibujamos el plano completo del circuito y generamos un listado de conexiones (*netlist*) cuyo contenido será:

- Nombres de las footprint (huellas)
- Nomenclatura de los componentes en PCB
- Tipo de encapsulado comercial
- Referencia enumerada de componentes de E/S
- Información de pines, conexiones, propiedades del componente, etc.

Este archivo será procesado por el Layout, en el cual se tendrá que definir unos parámetros de diseño, como son por ejemplo el borde o contorno exterior de la tarjeta, posicionamiento de los componentes, definir los tipos de nodos o vías, o el número y orden de las capas para el trazado.

4.4.2 Especificaciones de diseño

El sistema físico, que se está planteando en la unidad de dirección, presenta unas características que deben tenerse en cuenta para cumplir con los criterios de diseño del sistema.

Cálculo del ancho de pista

Hay que remarcar, antes de empezar, que las unidades en las que se expresan estos cálculos están muy influenciadas por las **medidas anglosajonas**, aunque se aplicará la mayor claridad al presentarlas en la unidad en la que se calculó y en la unidad correspondiente del sistema internacional.

Para calcular el **ancho de una determinada pista** es necesario **conocer tres datos**:

1. La **corriente máxima** que puede circular por la pista.
2. El **incremento máximo** permitido **de temperatura** que puede soportar esa pista (con respecto al ambiente).
3. El **grosor de la pista**. Este dato se refiere a **la altura** y se expresa en unidades anglosajonas (onzas por pie cuadrado¹⁵). Sus medidas estándar de fabricación son de 1, 2 y 3 [onzas por pie cuadrado] (35, 70 y 105 [μm]).

El grosor viene definido por la tecnología de fabricación de la placa. Ambos módulos (de control y potencia) se diseñaron pensando en la realización interna en la universidad, lo cual limitaba algunos criterios de diseño, como son el grosor de la pista o el metalizado de vías.

Con los criterios de fabricación que marcaba la universidad se establece que **el grosor** de las pistas sea de **1 [onza por pie cuadrado] (35 [μm])**.

La **corriente máxima** que necesita el **motor** pertenece a un rango de corrientes entre **(5, 25|7, 5) [A]**, como se ha comentado anteriormente.

¹⁵ 1 onza por pie cuadrado = 35 [μm] = $35 \cdot 10^{-6}$ [m]

Se establece como **criterio** de fabricación **aumentar la vida útil del sistema**, para ello se **sobredimensionaron**, en la medida de lo posible, los **anchos** mínimos que se calcularan en los apartados siguientes.

Las características para el diseño de las pistas se ven reflejadas en la tabla siguiente:

T_{ambiente}	35 [°C]
T_{funcionamiento}	45 [°C]
ΔT	10 [°C]

Tabla 39 Características de diseño de las pistas

Para calcular el ancho de la pista se hace uso de las siguientes ecuaciones

$$Ancho = \frac{\text{Área}}{L \cdot 1,378}$$

Ecuación 4 Ancho en función del área y la longitud

$$\text{Área} = \left[\frac{I}{K_1 \cdot \Delta T^{k_2}} \right]^{\frac{1}{k_3}}$$

Ecuación 5 Área en función del ΔT y de las constantes

Donde L es el grosor de la pista, en el caso del diseño es de 1 [onza por pie cuadrado]

Se sustituyen los valores conocidos en la ecuación anterior:

$$Ancho = \frac{\left[\frac{I}{K_1 \cdot \Delta T^{k_2}} \right]^{\frac{1}{k_3}}}{L \cdot 1,378}$$

Ecuación 6 Ancho en función del ΔT y de las constantes

Las constantes que aparecen dependen de la situación de la pista: **pista interna**, que se encuentra entre capas o **pista externa**, que se encuentra en la capa superior o inferior.

	k_1	k_2	k_3
Pista Interna	0,0150	0,5453	0,7349
Pista Externa	0,0647	0,4281	0,6732

Tabla 40 Constantes para el cálculo del ancho de pista

En el caso del diseño, las pistas se van a rutear en las capas superior e inferior, con lo que se buscan las constantes para pista externa. Se obtiene para la corriente de diseño del motor el ancho de pista:

$$\text{Ancho} = \frac{\left[\frac{10}{0,0647 \cdot 10^{0,4281}} \right]^{\frac{1}{0,6732}}}{1 \cdot 1,378} = 300 \text{ [mils]}$$

Si se realiza un análisis de sensibilidad, se puede apreciar qué ocurriría en el caso de una pista exterior:

Corriente [A]	Ancho [mils]	ΔT [°C]
6	140	10
	108	15
	90	20
	78	25
	70	30
8	215	10
	166	15
	138	20
	120	25
	107	30
10	300	10
	231	15
	192	20
	167	25

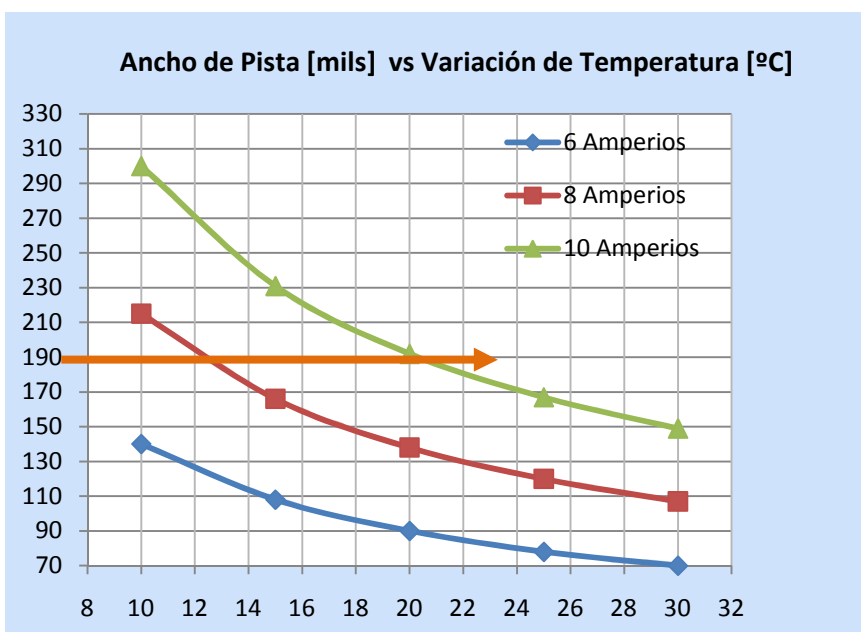


Tabla 41 Ancho de Pista [mils] vs Variación de Temperatura [°C]

Se selecciona el ancho de pista de las que proporcionan la corriente para mover el motor.

Se tomó el valor de 160 [mils] (4,06[mm]) ya que éste garantiza el funcionamiento:

- Con una corriente de 6 [A] para cualquier ΔT .
- Con una corriente de 8 [A] salvo para ΔT menores de 12 [°C].
- Con una corriente de 10 [A] salvo para ΔT menores de 20 [°C] el diseño no sería válido.

La corriente que se ha seleccionado es superior a la calculada en apartados anteriores, ya que mejorar el funcionamiento del sistema. Así mismo el ΔT podría ser mayor que el seleccionado escogiendo por lo tanto una pista de menor ancho.

Finalmente se **seleccionó** el **ancho** de la **pista de 160 [mils] (4,06 [mm])** y, al **fabricarse** la PCB sobre **una placa bicapa** (y al tener las **vías metalizadas**), se va a **dividir** el citado **ancho entre la capa superior (top) y la inferior (bottom)** con lo que se tiene que el ancho que se debe incorporar es de **80 [mils] (2,03[mm])(por capa)**. Este ancho se ha seleccionado también por otro motivo: el transistor tiene un encapsulado TO220 y la distancia entre las patas permite, en el layout, un ancho de pista de ∓ 40 [mils].

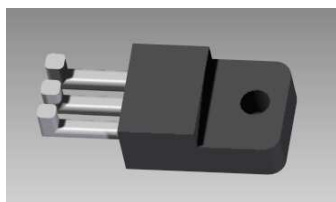


Figura 4.44 Encapsulado del transistor TO220 para el IRFIZ44N

Cálculo del ancho de los cables de alimentación

Para buscar el diámetro de cable mínimo para la aplicación, en el Reglamento Electrotécnico de Baja tensión, se hace uso de la siguiente tabla:

Sección nominal mm²	1 terno de cables unipolares (1)					1 cable tripolar o tetrapolar					2 cables unipolares				1 cable bipolar			
																		
	TIPO DE AISLAMIENTO																	
	V	B	D	R	P	V	B	D	R	P	V	B	D	R	V	B	D	R
1,5	16	18	18	18	30	15	17	17	17	15	22	25	27	27	20	23	25	25
2,5	22	25	26	26	38	21	24	25	25	18	30	34	36	36	26	30	33	33
4	30	34	35	35	48	28	32	34	34	25	40	45	48	48	35	40	44	44
6	38	44	45	46	62	36	41	43	44	35	50	60	64	64	45	55	58	58
10	53	61	62	64	80	50	57	60	61	50	70	80	85	85	65	75	79	79
16	71	81	83	86	102	65	75	80	82	70	95	105	115	115	85	95	103	103
25	96	110	115	120	130	87	100	105	110	90	125	145	155	155	115	130	138	138
35	115	135	140	145	160	105	120	130	135	110	155	175	190	190	140	160	170	170
50	145	165	175	180	195	130	150	160	165	140	185	210	225	225	165	190	200	200
70	185	215	225	230	250	165	190	200	210	180	230	265	280	285	205	240	255	255
95	235	270	280	285	305	205	235	250	260	220	285	325	345	350	255	295	310	310
120	275	315	325	335	350	240	275	290	300	250	330	380	400	405	295	345	360	360
150	315	360	375	385	410	275	315	335	350	295	375	430	455	465	340	390	410	415
185	365	420	440	450	465	315	365	385	400	335	430	490	525	535	390	450	475	485
240	435	490	515	535	530	370	435	460	475	380	505	580	615	630	460	530	560	565
300	500	570	595	615	605	425	495	520	545	440	580	670	710	730	535	615	650	660
400	585	660	700	720	675	495	575	610	645	500	665	770	815	840	620	715	760	770
500	665	760	800	825	745	—	—	—	—	—	760	865	915	950	—	—	—	—
630	765	870	915	950	810	—	—	—	—	—	880	1015	1080	1100	—	—	—	—
800	—	—	—	—	875	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1.000	—	—	—	—	925	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Figura 4.45 Selección de cables

El cable que disponemos es unipolar, con aislamiento de etileno – propileno (D en la tabla anterior) y con un diámetro de cobre de 2 [mm]. Se busca para el área que genera ese diámetro y, al no aparecer directamente, se realiza una interpolación lineal obteniendo:

$$I_{\max} = 26 \text{ [A]}$$

Esta corriente es aproximadamente el triple de la que necesita la unidad de dirección en el peor de los casos. Por lo tanto se incorporará el cable de este diámetro en la alimentación de 36 [V] del módulo de potencia y en el conector del motor desde el mismo módulo.

4.4.3 Placa del módulo de control

El layout de esta placa se va a presentar y se desarrollará en próximos trabajos.

1. Placa del módulo de control: Layout Capa TOP

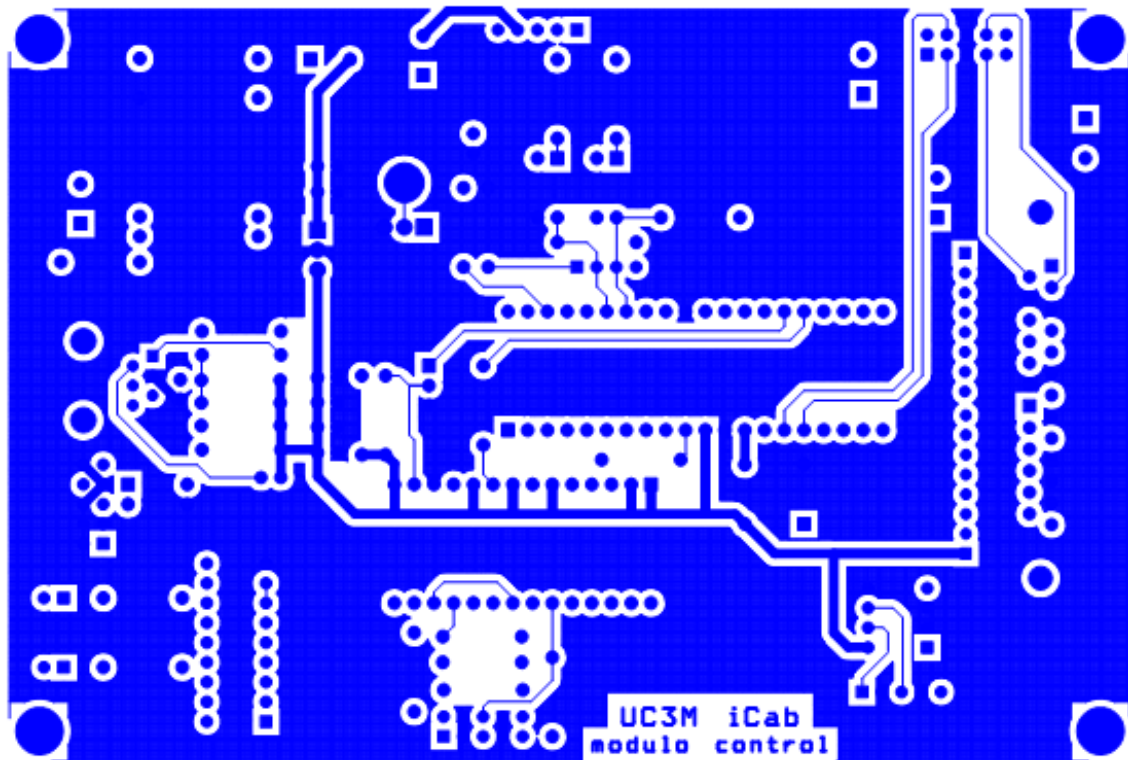


Figura 4.46 Placa del módulo de control Layout final. Capa TOP

2. Placa del módulo de control: Layout Capa BOTTOM

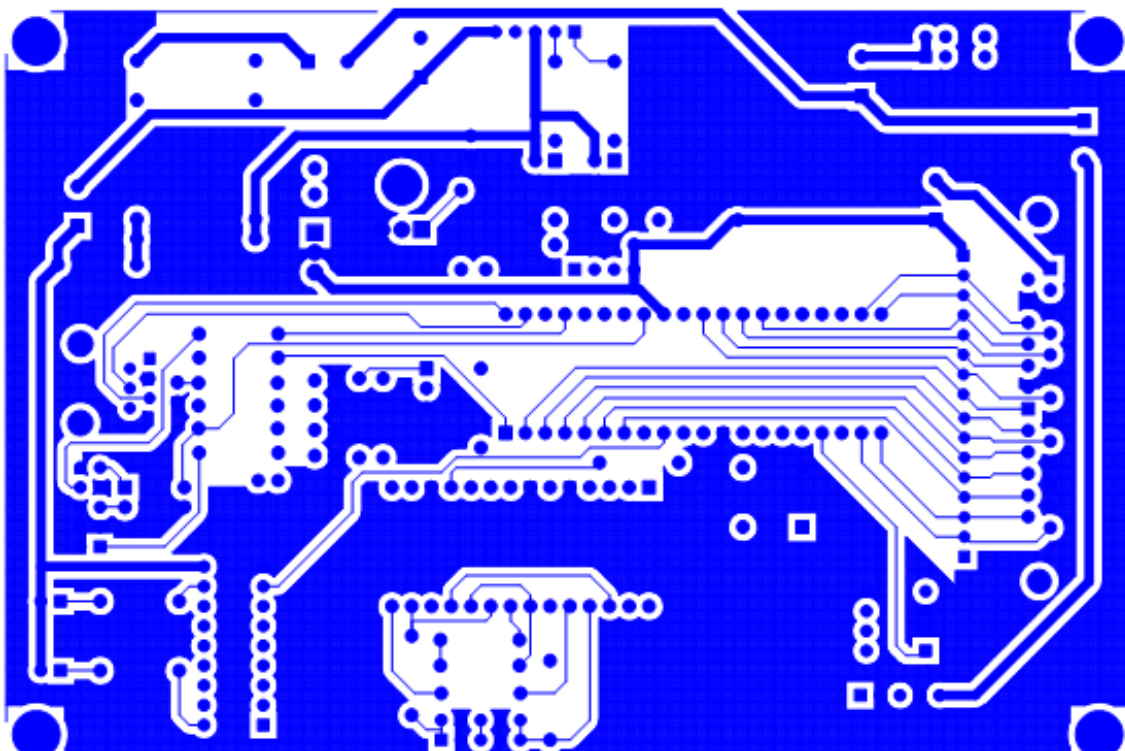


Figura 4.47 Placa del módulo de control Layout final. Capa BOTTOM

4.4.4 Placa del módulo de potencia Layout

El layout de esta placa se ha realizado teniendo en cuenta las especificaciones detalladas anteriormente sobre ancho de pistas.

1. Placa del módulo de potencia: Layout Capa TOP

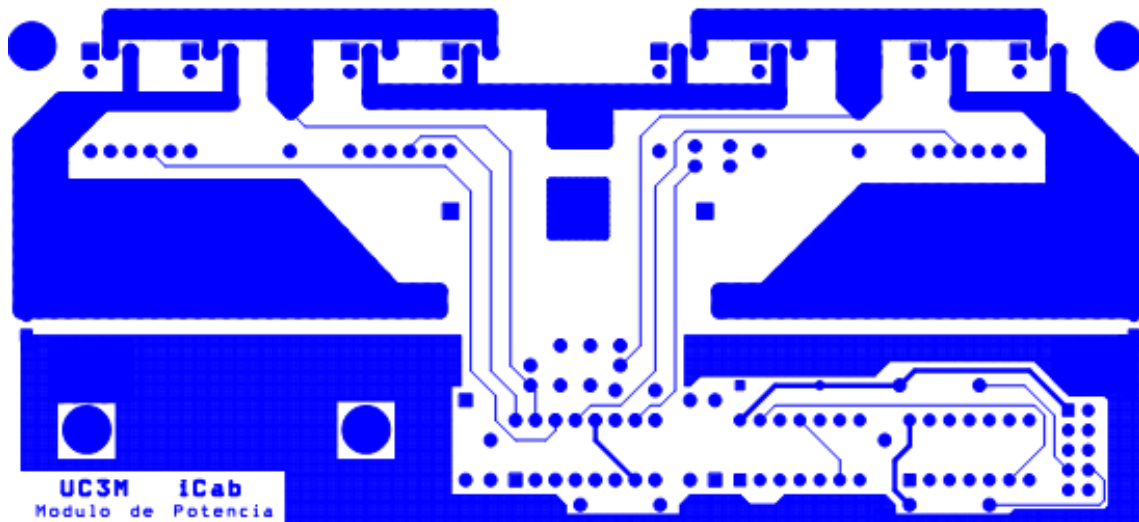


Figura 4.48 Placa del módulo de potencia Layout final. Capa TOP

2. Placa del módulo de potencia: Layout Capa BOTTOM

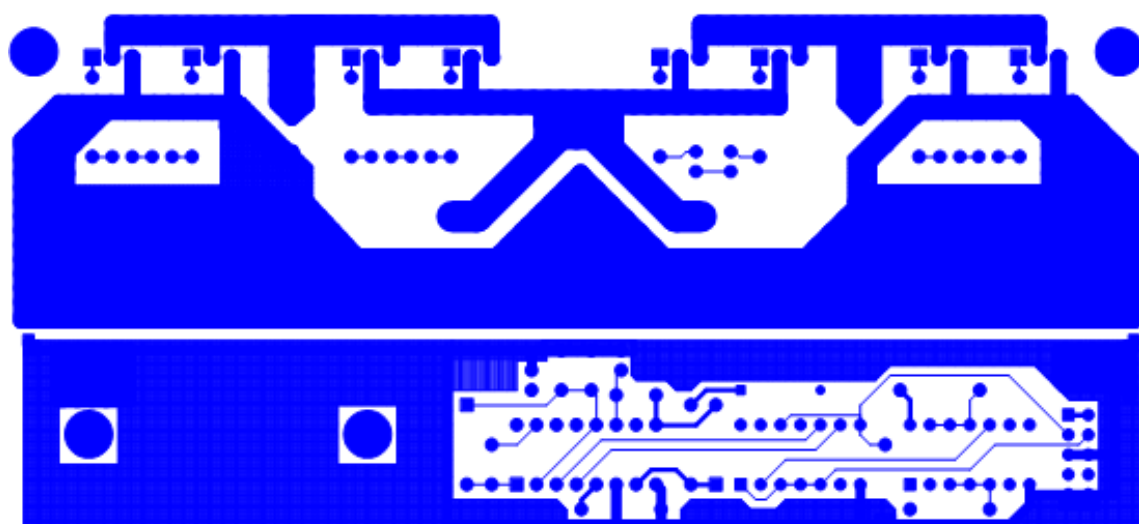


Figura 4.49 Placa del módulo de potencia Layout final. Capa BOTTOM

3. Placa del módulo de potencia: Layout Taladros

En la placa se han realizado unos agujeros, en los planos de masas, para mejorar anteriores problemas que se produjeron en la placa de potencia, por un dimensionado escaso de las pistas de tierra. Para mejorar esta característica se introduce en el montaje dos cables de 2 [mm] de diámetro interno para aumentar el área útil.

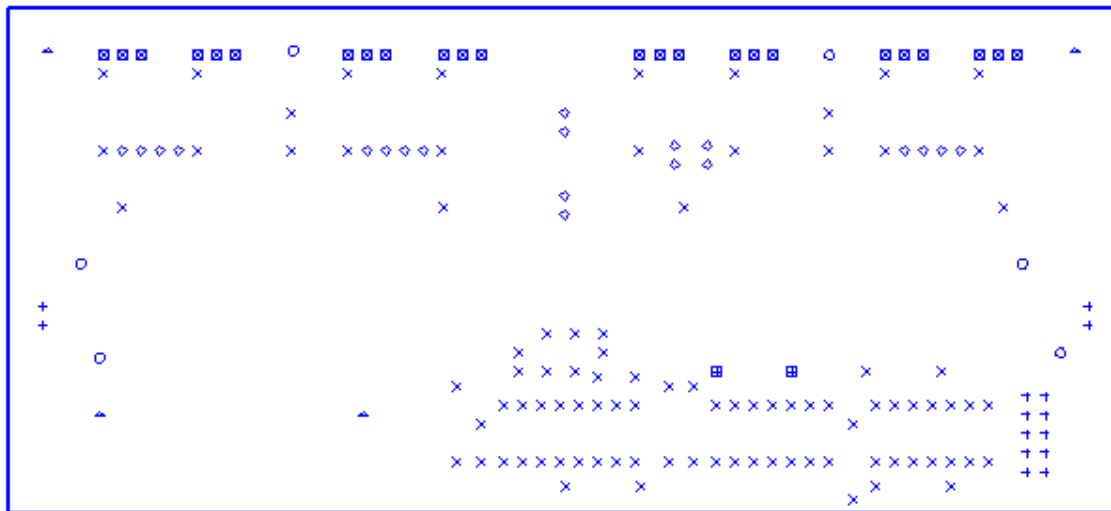


Figura 4.50 Placa del módulo de potencia Layout final. Taladros



Capítulo 5:

Medidas experimentales y montaje.

5 Medidas experimentales y montaje

Una vez **montada la unidad de dirección** se paso a la **toma de medidas**.

El proceso de montaje del conjunto se pospuso hasta que se comprobó que los módulos de control y potencia funcionaban correctamente.

5.1 Procedimiento de pruebas de los módulos de control y potencia

Se va a comentar como se produjo el proceso de pruebas para los módulos de control y potencia:

5.1.1 En el módulo de control

El **procedimiento** fue el siguiente:

- **Se comprobó la alimentación** de todas las zonas: 36 [V], 12 [V] y 5[V] únicamente montados los componentes que la generaban.
- **Se comprobó que la pata del micro recibía la señal de 40 [MHz]** por medio del osciloscopio.

- **Se monto el microcontrolador** y se intentó **detectarlo** a través del dispositivo de programación/depuración (ICD2). **Se comprobó** que **los niveles de tensión** en el micro eran correctos para el dispositivo, con lo que **se conectó y programó con el firmware del iCab1¹⁶**, ya que se ha evitado cambiar el patillaje para reutilizar el código desarrollado en la anterior plataforma.
- Comprobado el funcionamiento del micro **se conectó el circuito**, que gestiona las **comunicaciones** y se intentó **establecer comunicación a través del puerto serie**. **Se obtuvo respuesta del micro** pudiendo comprobar todas las funciones que estaban implementadas. Sin embargo aparecieron las siguientes limitaciones:
 - No tener módulo de joystick.
 - No tener comunicaciones con la unidad de tracción.
 - No tener la mecánica necesaria para montar el motor y el encoder para realizar un control de posición del mismo.
 - El encoder estaba defectuoso y ha tenido que ser reparado.

Se comprobó el funcionamiento del encoder, ya que en la anterior versión (iCab1) el encoder daba constantes problemas de paridad y de habilitación de las señales (STROBE).

Realizando un conjunto de pruebas se ha llegado a la conclusión que el encoder no funciona correctamente ya que el bit 2^{10} nunca cambia de estado.

Para llegar a esta conclusión se actuó de la siguiente forma:

- Se comprobó en modo depuración con el Mplab ICD2 el valor que daba el encoder en una progresión de valores ascendentes, esperando un rango continuo de valores que empieza en 0 y acaba en 4096 (2^{11} Posiciones del encoder en 4 vueltas del eje). Se observó que el bit 2^{10} no cambia. Se comprobó que llegaba alimentación a la resistencia de pull-up y que la resistencia tenía el valor indicado por el fabricante (4K7 [Ω] para una alimentación de 5[V]).
- Para independizar el encoder de posibles errores externos (en el diseño del circuito) se comprobó su funcionamiento alimentándolo directamente desde una fuente de alimentación a 5 [V]. Con la misma resistencia de pull-up se fueron midiendo todos los

¹⁶ El código del iCab1 es el que se denomina “básico” para esta versión. La unidad de dirección del iCab2 hace lo mismo que la del iCab1 pero sin programar en el firmware el uso de los indicadores luminosos ni el control de los ventiladores.

bits. Se comprobó al girar el eje que el valor de todos los bits cambiaba menos aquel que ya hemos comentado anteriormente.

Se realizó otra prueba más sin resistencia de pull-up que llevó a la misma conclusión.

Hay que remarcar que las señales que se obtenían sin la resistencia eran del orden de 200 [mV] en comparación con los 5 [V] que obteníamos en la prueba anterior.

Con todas estas pruebas se llegó a la conclusión que **el encoder estaba defectuoso y se ha procedido a la reparación por el servicio técnico** especializado. No obstante, para la realización de este PFC, no es intrínsecamente necesario el uso del encoder ya que se podría adecuar el firmware del módulo de control para obtener una señal de movimiento saltándose todas las medidas de seguridad y control implementadas en la unidad.

El **módulo de control envía** dos señales que son **DPUENTE y PWMDIR** para **controlar el movimiento del motor** por medio de unas **señales TTL** entre 5[V] y 0[V].

Se produjo un mal funcionamiento en el diseño al **cambiar la tecnología TTL¹⁷ de las puertas nand por las Cmos¹⁸**. Para obtener un “1” lógico con una alimentación de 12 [V] son necesarios 8 [V] con lo que se presentaba un problema a la hora de interconectar los módulos.

Para subsanar este problema se creó una **placa adaptadora de niveles de tensión de TTL a Cmos** a través de un par de **circuitos integrados TC1411N** (cada uno de ellos adapta una señal).

¹⁷ TTL (transistor-transistor logic). Es una familia lógica de construcción de circuitos electrónicos digitales.

Esta fabricada a partir de transistores bipolares y su tensión de alimentación característica se halla comprendida entre los 4,75v y los 5,25V. Los niveles lógicos vienen definidos por el rango de tensión comprendida entre 0,2V y 0,8V para el estado L (bajo) y los 2,4V y Vcc para el estado H (alto).

¹⁸ Cmos (Complementary metal oxide semiconductor). Es una familia lógica de circuitos electrónicos.

Su principal característica consiste en la utilización conjunta de transistores mosfets tipo n y tipo p configurados de tal forma que, en estado de reposo, el consumo de energía es únicamente el debido a las corrientes parásitas.

Su rango de alimentación está comprendido entre los (3|18) [V]. Siendo los estados alto y bajo proporcionales a la alimentación.

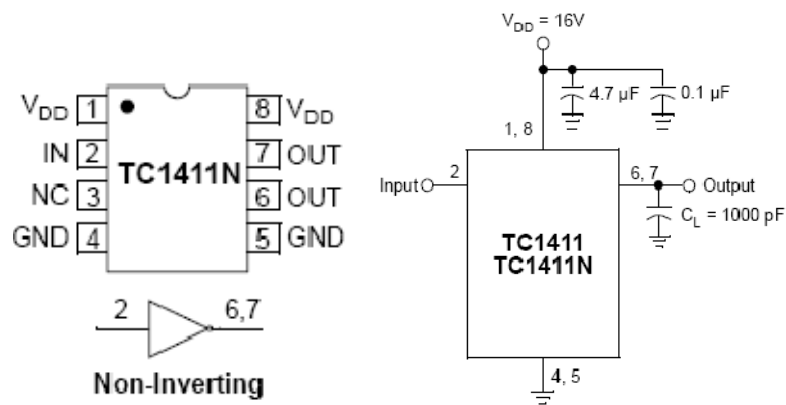


Figura 5.1 TC1411N Patillaje y circuito de montaje

Las características del TC1411N se pueden ver a continuación:

Tensión de alimentación	(4,5 16) [V]
Salida	No invertida
“1” lógico	2 [V]

Tabla 42 Características TC1411N

En la imagen siguiente se puede apreciar el resultado final del adaptador de niveles

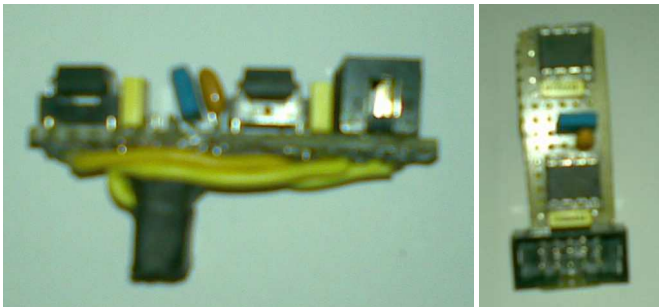


Figura 5.2 Adaptador de niveles TTL-Cmos

Con esta solución, tomada para las señales de entrada de DPUENTE y PWMDIR, ya se podía obtener las señales para los modos de operación de la placa de potencia.

Se debía **comprobar** ahora que la **lógica de control funcionaba** y que el **driver de control del puente** generaba las señales necesarias para mover los transistores.

5.1.2 En el módulo de potencia

Como se presentaron problemas con los niveles de tensión se diseñó **un simulador de señales** para el módulo de potencia como si las señales del módulo de control se trataran.



Figura 5.3 Simulador Módulo de Potencia

Este elemento resultó muy útil para encontrar el problema de niveles de tensión y para el desarrollo del adaptador de niveles de tensión.

La **fase de pruebas** se realizó con los siguientes **dispositivos**:

- **Fuente de alimentación 1:** entrega **36 [V]** en **modo paralelo** para introducir más corriente al sistema en la fase de pruebas.
- **Fuente de alimentación 2:** entrega **12 [V]** por un canal para alimentar la lógica y generar las señales de control a través del simulador.
- **Generador de funciones:** genera una onda cuadrada (**PWM**) entre **5 [V]** y **0 [V]** referenciada a tierra con una frecuencia de **40 [MHz]** y con un ancho de ciclo variable.
- **Adaptador de niveles:** Es el dispositivo encargado de cambiar señales TTL a Cmos
- **Simulador de señales.**
- **Unidad de dirección:** se presenta la unidad completa montada sobre el disipador.
- **El osciloscopio:** se ha utilizado para ver las señales que se generan en el simulador y las salidas de la lógica de control de la placa de potencia y el driver.

A continuación se puede observar **el entorno de trabajo** con los elementos anteriormente expuestos:



Figura 5.4 Fase de pruebas del módulo de potencia

Al **simulador** llegan dos señales, con las que se simula el módulo de control:

- **Una señal PWM** que se genera en el generador de funciones entre 0 y 5 [V] a la frecuencia de 40 [MHz] tal y como lo haría el micro. Por limitaciones del generador de funciones el rango que se simuló está comprendido entre el 20 y el 80%.
- **La señal de alimentación de 12 [V] y tierra.**

El simulador **ofrece** la casuística de **operación de los finales de carrera (FCSUP Y FCINF)** y genera el **sentido de giro: DPUENTE**.

Tiene incorporado un conector para el adaptador de niveles.

Se comprobó por partes el **funcionamiento del sistema**:

- Con los circuitos integrados fuera se comprobó la **alimentación de la placa** y se vio que llegaban los 12 [V] del diseño.
- **Se introdujo la lógica de control y se simularon todas las posibilidades de entradas** para ver que funcionase bien.
- **Se introdujo el driver de control y se observó la excitación de los mosfets.**

En el momento de observar la excitación de los mosfets sin carga se observó un funcionamiento anómalo del driver.

En el diseño se introdujeron unos diodos de alta velocidad (1N4148) entre la resistencia que llega a la puerta del mosfet y el driver. Estos diodos intentaban proteger el driver frente a un fallo del mosfet y que pase por éste una corriente que rompa el driver, como sucedió en la plataforma iCab1.

Se observó que los diodos, aunque eran de alta velocidad, a frecuencias superiores a 300 [KHz] (frente a los 40 [MHz] de la señal que reciben en verdad), se quedaban “cebados”.

Esto lo propiciaba la capacidad del transistor IRFIZ44N de 1300 [pF] que, junto a la resistencia de 47 [Ω] que llegaba a la puerta del mosfet, no permitían la descarga del diodo a esa frecuencia. Para descargarlo se introdujo una resistencia de 2 [K Ω] entre tierra y el ánodo del diodo aumentando el funcionamiento del sistema hasta los 3 [MHz].

Con estas medidas se optó por eliminar los diodos de protección del diseño ya que no funcionaban correctamente para la frecuencia del sistema, puenteando los pines correspondientes.

Las medidas tomadas se pueden ver a continuación con la simulación de las señales para el estado de reposo, generando movimiento en sentido horario y para el movimiento en sentido antihorario.

1. Estado de reposo del puente

El estado de reposo del puente se produce si:

- No hay señal PWM en PWMDIR.
- Están los dos **finales de carrera pisados**.
- El **sentido de giro es antihorario** y esta **pisado el FCINF**.
- El **sentido de giro es horario** y esta **pisado el FCSUP**.

En cualquiera de estos casos obtenemos las siguientes excitaciones en los transistores y ninguna salida entre los terminales de salida MPOS y MNEG.

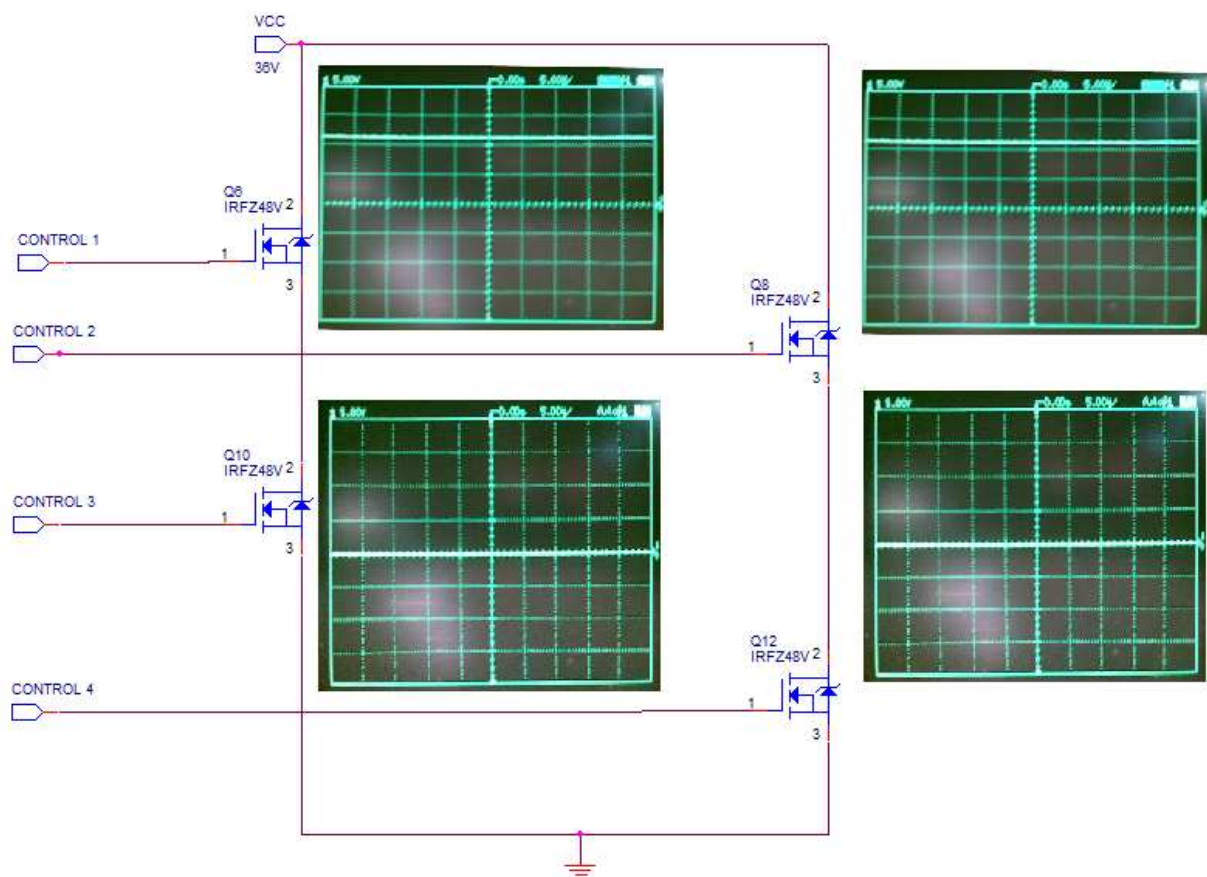


Figura 5.5 Fase de pruebas. Puente en H en reposo

2. Estado de movimiento en sentido horario

Este movimiento **se produce** cuando:

- **DPUENTE** está a “1”.
- **PWMDIR** está generando una señal PWM.
- **No** está pisado **FCSUP**.

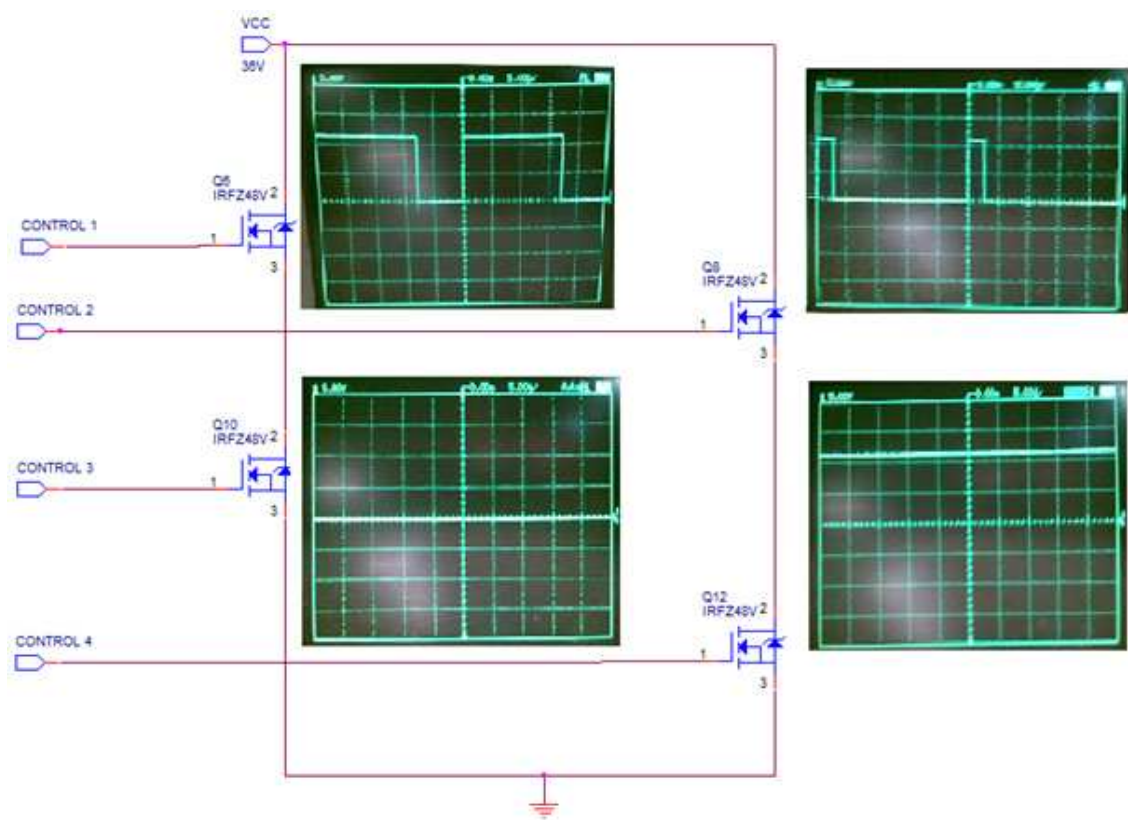


Figura 5.6 Fase de pruebas. Puente en H en movimiento horario

Para comprobar el funcionamiento del puente se le aplicó 36 [V] de alimentación al puente (entre MPOS y MNEG) y se introdujo **una resistencia de 1 [KΩ]**, comprobando entre sus patas la excitación que le llegaba con un ciclo de trabajo variable de PWMDIR. En la figura siguiente el ciclo de trabajo introducido es del 80 %.

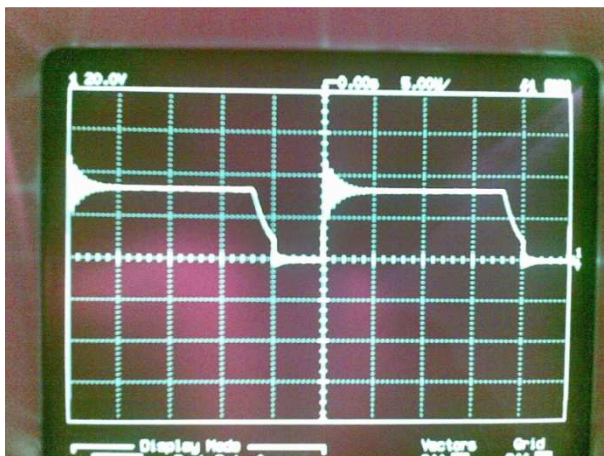


Figura 5.7 Sentido horario Ciclo de trabajo del 20 %

Se observa un gran rizado en la señal, este es debido a que la resistencia que se seleccionó es muy grande en comparación a la del funcionamiento normal (del orden de unos pocos Ω), sin embargo se seleccionó esta para disminuir notablemente la corriente que la fuente necesitaba introducir a la carga.

Las pruebas con el motor no se presentaron necesarias por dos motivos:

- No se disponía del encoder para poder controlar el motor en posición.
- Los requerimientos de corriente para el motor con un ciclo de trabajo del 20 % (que es el mínimo que el generador de funciones podía ofrecer) estaban por debajo del límite para una fuente de alimentación en paralelo.

Con todo esto se comprobó el **funcionamiento correcto del módulo de potencia**. Se deja el movimiento del motor para el momento en el que se disponga del encoder y el montaje mecánico para controlar la posición del mismo.

3. Estado de movimiento en sentido antihorario

Este movimiento **se produce cuando:**

- **DPUENTE** está a “0”.
- **PWMDIR** está generando una señal PWM.
- **No está pisado FCINF**.

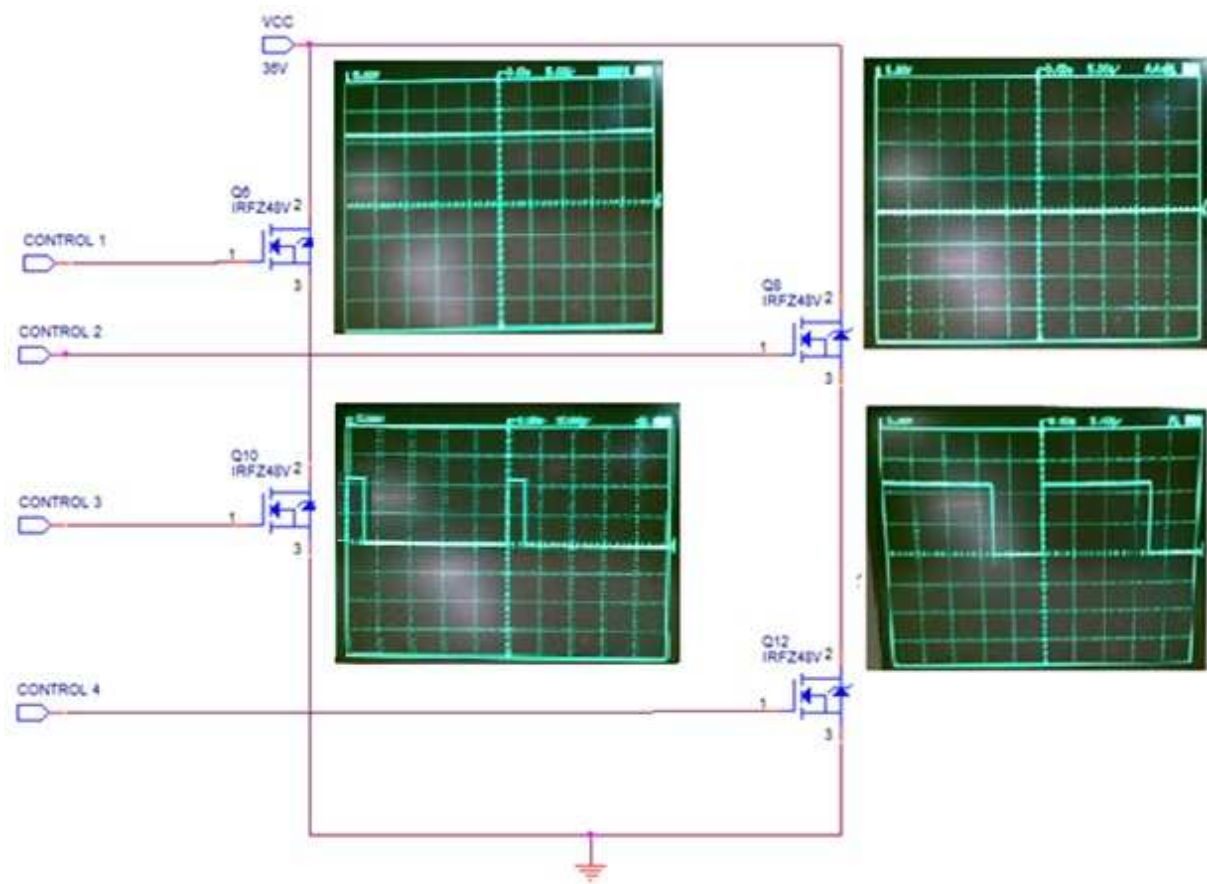


Figura 5.8 Fase de pruebas. Movimiento del puente en sentido antihorario

Para este sentido de giro se obtuvieron las mismas medidas sobre la resistencia cambiando la referencia de positivo por la de negativo.

5.2 Montaje de la tapa de la guantera

La **tapa** de la guantera se fabricó a partir de un **plástico** con una **textura parecida** al plástico colindante del vehículo. Para tal efecto se selecciono una tapa del maletero de un Citroën Zx Wagon, de la cual salieron 2 piezas.

El cierre de la tapa proviene del cierre de la guantera de un Renault Megane.

La forma de realizarla fue a través del modelo en 3D del mismo, sobredimensionado ligeramente, para ajustarlo correctamente al hueco a través de una herramienta rotativa de alta velocidad (Dremel).

Como la tapa tiene unas pestañas para anclarla se marcaron sobre el plástico y se realizaron los taladros de sujeción con la Dremel.

El resultado de la integración lo podemos ver en la imagen siguiente



Figura 5.9 Integración de la tapa al hueco

Una vez que se obtuvo la tapa ajustada con las medidas correctas se hicieron los **taladros** para **atornillar los ventiladores** y **permitir el flujo de aire** por el sistema. Además se realizó el corte de un **rectángulo de 20x20 [mm]** para colocar el **cierre** y **tres agujeros de 6 [mm]** para los **leds**.

El mecanismo de cierre se puede apreciar en la figura siguiente:

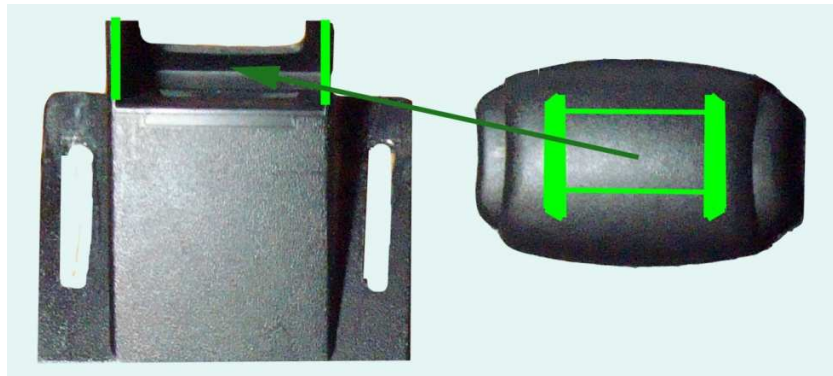


Figura 5.10 Cierre de la tapa

A la izquierda aparece el elemento que hace de tope y que se colocó en el interior de la guantera y, a la derecha, el pulsador para liberar la tapa de la posición cerrada. El tope se puede ver en su posición final en la Figura 5.14 Montaje final extendido en la guantera.

En la siguiente imagen se puede ver la tapa montada sobre la guantera.

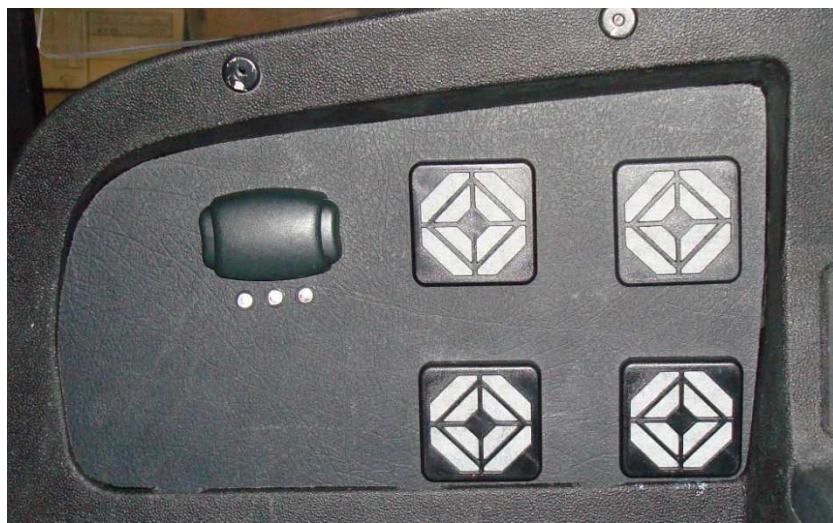


Figura 5.11 Vista frontal de la tapa

Finalmente, en esta imagen, se puede apreciar cómo están cableados los ventiladores y los indicadores luminosos.

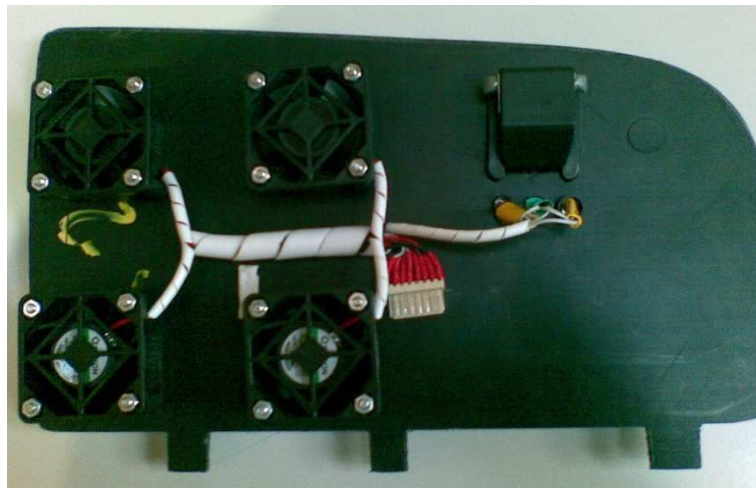


Figura 5.12 Vista posterior de la tapa

El **conexionado de la tapa**, para poder extraerla rápidamente, se realiza con **un conector AMP de 8 pines**. Las señales son:

Numero	Señal	Función
1	5V	A
2	SLND	S
3	AUT/MAN	S
4	GND	A
5	VEN1	S
6	36V	A
7	VEN2	S
8	36V	A

Tabla 43 Señales del conector de la tapa para extracción rápida

5.3 Montaje de las placas al disipador

El **módulo de control** se sujeta al disipador por **4 torretas de métrica 3 (M3)**; el **módulo de potencia** se sujeta al disipador a través de **4 torretas de métrica 3 (M3)** y **8 tornillos M3**, uno por cada transistor del puente.



Figura 5.13 Unidad de dirección montada sobre el disipador

Posteriormente el disipador y las placas son atornillados a las guías extensibles por 2 tornillos de métrica 4 (cada una de las guías). Las guías, a su vez, son unidas a la guantera por medio de 2 tornillos cada una al soporte diseñado. Se puede apreciar el conjunto montado abierto (y sin tapa) en la siguiente figura:

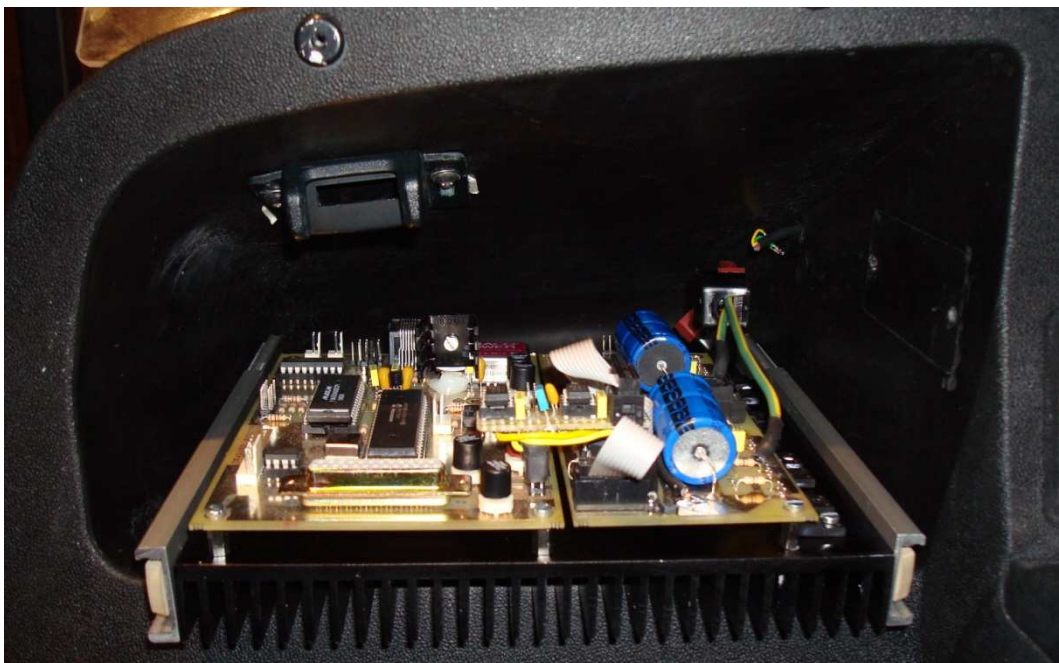


Figura 5.14 Montaje final extendido en la guantera

Y cuando el elemento deslizante se encuentra recogido en la siguiente figura:



Figura 5.15 Montaje final recogido en la guantera

Para la toma de estas imágenes no se ha presentado los conectores para poder apreciar mejor el montaje del sistema sobre la guantera.

Capítulo 6:

Conclusiones.

6 Conclusiones

El proyecto realizado tenía como **objetivo la construcción e integración de la unidad de dirección para la plataforma iCab2.**

Para la realización del mismo se plantearon **objetivos intermedios:**

- **Introducción de mejoras al diseño** de la unidad de dirección, que añaden funcionalidades y evitan errores de diseño de la versión anterior.
- **Integración de la unidad de dirección** al hueco de la guantera.
- **Fabricación de 3 placas del módulo de potencia**, con la idea de integrarlas en la versión del iCab1 y como repuestos para el iCab1 y el iCab2.
- **Comprobar el funcionamiento “básico” del módulo de control** del iCab2.
- **Comprobar el funcionamiento del módulo de potencia.**
- **Fabricación de todos los cables de conexión entre módulos y de alimentación.**

Durante el desarrollo del proyecto se marcaron unas pautas de diseño que se comentan a continuación:

- **El sistema debía tener protección electrónica** tanto para la unidad de dirección, como para los módulos de potencia y control. Esto se ha conseguido con la utilización de **fusibles** de protección para los módulos, un fusible de alimentación para la unidad y una **seta de emergencia** que interrumpe la corriente que suministran las baterías a la unidad de dirección.

- Un **diseño**:
 - **modular, funcional y de fácil montaje**, que se realizó con la herramienta informática Solid Edge.
 - conocer **el estado de las unidades** que componen el sistema.
 - **robusto**, que influye positivamente en el incremento de la vida de los componentes que forman el diseño.
 - realizado **con componentes comerciales** de fácil adquisición.
- Una distribución que facilita **un sencillo acceso a la unidad de dirección** y a los módulos que la forman.
- **Simplificación de las conexiones de los módulos de potencia y control.**

El proyecto ha supuesto una ampliación de los conocimientos que se han visto en la carrera y con él se ha presentado la posibilidad de enfrentarse a un problema real, con las peculiaridades y características que esto conlleva. En cuanto a la adquisición de conocimientos se han cumplido los siguientes objetivos:

- Uso del programa
 - **Orcad Capture**, para el desarrollo de los diseños esquemáticos, de las conexiones, así como de la creación de informes y la lista de materiales.
 - **Orcad Layout**, para el desarrollo de las placas de circuito impreso, así como la comprensión de las principales reglas que se deben tener en cuenta para su diseño.
 - **MPlab** y de la herramienta de programación y depuración **ICD2**.
 - **Solid Edge** para el modelado del sistema en 3D, consiguiendo así su integración.

6.1 Trabajos futuros

En el momento en el que en esta plataforma, que ha empezado a materializarse con la realización de este proyecto fin de carrera, estén operativas todas las unidades que conforman el iCab2, llegará el momento de subir un nivel de abstracción y surgirán proyectos encaminados a las líneas de trabajo del grupo de investigación LSI, como el desarrollo de los sistemas de comunicaciones entre plataformas del tipo V2V y V2I y la mejora de los sistemas que convierten a esta plataforma en un SIT.

Para la materialización completa de la plataforma iCab2 es necesario que se realicen nuevos PFC's y trabajos dirigidos en los siguientes campos:

- Es necesario programar la unidad de dirección para introducirle las funcionalidades firmware incorporadas en el diseño con respecto a la primera plataforma (iCab1), ya que con la consecución de este PFC se buscaba el funcionamiento básico del firmware de la unidad de dirección. Éste no es más que el funcionamiento pleno de la unidad de dirección (tal y como funciona en la plataforma iCab1).
- Se debe montar la mecánica de la unidad de dirección: conjunto motor, encoder y finales de carrera en la mecánica, que producen el giro de las ruedas de la plataforma.
- Se deberá llevar a cabo la integración del control electrónico del freno (por el momento no existe ningún dispositivo electromecánico que sea capaz de controlar el frenado del vehículo por una señal del micro).
- Durante la fase de pruebas se descubrió un problema de diferencias de niveles de tensión, entre la que envía el micro y la que necesita la lógica de control del módulo de potencia.

Para resolver el problema se podría actuar de distintas formas:

- Incorporar un transistor mosfet (con la polarización necesaria) de tipo n en configuración de colector abierto, en el módulo de control y enviar las señales a unos niveles que el módulo de potencia los admita.

Esta idea presenta una peculiaridad, la señal que se envía, es cambiada de su estado alto a bajo, por lo que habría que cambiar la configuración de las señales del micro. Esta opción no es aconsejable porque complicaría la universalidad del firmware de la unidad de dirección de las plataformas iCab. Esta solución implica la modificación del esquemático y del layout del módulo de control.

- Enviar dos señales de alimentación, 5 [V] y 12 [V], desde el módulo de control al de potencia para alimentar los circuitos integrados, modificando el esquemático y el layout del módulo de control y de potencia.

Esta solución no es aconsejable porque hay que modificar los dos módulos.

- Incorporar los circuitos integrados TC1411N (con sus desacoplos) en el módulo de control. Se modifica el esquemático y layout del módulo de control.
- Integrar un regulador de tensión en el módulo de potencia, que adecue las tensiones. Con esto se obtendría 5 [V] para la lógica de control y 12 [V] para el



funcionamiento del driver. Esta solución requiere la modificación del esquemático y el layout del módulo de potencia.

- Introducir un diodo zener para fijar la alimentación de la tecnología Cmos a 5 [V] aproximadamente y hacer compatibles las señales TTL y Cmos. Esta solución implica la modificación del esquemático y layout del módulo de potencia.
- Se deberá fabricar, montar, probar e intercomunicar la unidad de tracción a la unidad de dirección.

Bibliografía.

Bibliografía

Se van a dividir los recursos bibliográficos de acuerdo a la procedencia y al formato:

A. Libros

1. Título: ***Algoritmo para el calculo del ancho de pista de una placa de circuito impreso***
Autor: Alexandre, Francisco Javier
Editorial: IEE
Año: 2003
2. Título: ***Circuitos microelectrónicos.***
Autor: Sedra/Smith
Editorial: Oxford University Press
Año: 1997

B. Libros en formato PDF

1. Título: ***Complete PCB design using Orcad Capture and Layout***
Autor: Mitzner, Kraig
Editorial: Newnes.
Año: 2003
2. Título: ***Algoritmo para el calculo del ancho de pista de una placa de circuito impreso***
Autor: Alexandre, Francisco Javier
Editorial: IEE.

- Año: 2003
3. Titulo: ***Introducción a la programación en C***
Autor: Peña Basurto, Marco A.
Editorial: UPC.
Año: 2000.
 4. Titulo: ***Diseño de circuitos impresos con Orcad Capture y Layout V 9.2***
Autor: Recasens Bellver, Maria Auxiliador.
Editorial: Thomsom.
Año: 2002
 5. Titulo: ***Starting Electronics Construction***
Autor: Brindley, Keiith
Editorial: Newnes
Año: 2005
 6. Titulo: ***Ezgo. Service Parts Manual. Tehcnicians repair and service manual***
Autor: Ezgo
Año: 2002
 7. Titulo: ***Curso basico de MPLSB microcontroladores PIC***
Autor: Savall, David
Año: 2005
 8. Titulo: ***Fundamental of Heat and Mass Transfer. Solution manual***
Autor: Incropera
Año: 2005
 9. Titulo: ***Introduction to heat transfer***
Editorial: JOHN WILEY & SONS
Año: 2002
 10. Titulo: ***Microchip. Mplab c18 getting started***
Compañía: Microchip.
Año: 2004
 11. Titulo: ***Mplab user's guide***
Compañía: Microchip.
Año: 2004
 12. Titulo: ***PIC18F2455/2550/4455/4550***
Compañía: Microchip.
Año: 2004

C. PowerPoint

1. Título: ***Control térmico de los semiconductores de potencia***
2. Título: ***Estudio de los obstáculos en Orcad Layout***
3. Título: ***Estudio de los obstáculos en Orcad Layout***
4. Título: ***Instrucciones del 8051/8052***

D. Recursos de internet

1. Descripción: ***Guías extensibles de la compañía Chambrelan.***
Título: **Chambrelan**
URL: <http://www.chambrelan.com/es/pages/interface/accueil.php4>
2. Descripción: ***Calculador del ancho de pista para una pcb.***
Título: **Circuit calculator**
URL: <http://circuitcalculator.com/wordpress/2006/01/31/pcb-trace-width-calculator/>
3. Descripción: ***Ayuda para el calculo de las resistencias termicas.***
Título: **Heat sink temperature calculator.**
URL: <http://www.daycounter.com/Calculators/Heat-Sink-Temperature-Calculator.phtml>
4. Descripción: ***Suministrador de componentes electronicos.***
Compañía: **Farnell**
URL: <http://es.farnell.com/>
5. Descripción: ***Suministrador de componentes electronicos.***
Compañía: **RS**
URL: es.rs-online.com
6. Descripción: ***Catalogo de disipadores.***
Compañía: **Seradhe**
URL: <http://www.seradhe.com/>
7. Descripción: ***Conectores de potencia***
Compañía: **Tycoelectronics.**
URL: [http://www.tycoelectronics.com/.](http://www.tycoelectronics.com/)

8. Descripción: ***Aprendizaje de Orcad Capture, Orcad Layout y Orcad PSpice [Videos]***.
Compañía: **FutureWorks**.
URL:
<http://www.futureworkss.com/TRABAJOS/TECNOLOGICOS/cursocad/cursocadmenu.htm>
9. Descripción: ***Laboratorio de Sistemas Inteligentes de la UC3M***.
Departamento: **LSI de la UC3M**.
URL:
http://www.uc3m.es/portal/page/portal/dpto_ing_sistemas_automatica/investigacion/lab_sist_inteligentes
10. Descripción: ***Página web de la compañía Microchip***.
Compañía: **Microchip**.
URL: http://www.microchip.com/stellent/idcplg?IdcService=SS_GET_PAGE&nodeId=64

E. Apuntes de asignaturas

1. Asignatura: ***Instrumentación electrónica***.
Profesor: Acedo, Pablo.
Año: 2007.
2. Asignatura: ***Electrónica Industrial***.
Profesor: Barrado, Andrés.
Año: 2009.
3. Asignatura: ***Ingeniería térmica y de fluidos***.
Profesor: Rodríguez Aumentez, Pedro
Año: 2008.

F. Memorias de trabajos dirigidos, PFC's y tesis de máster

1. Título: ***Sistema de dirección del vehículo auto tripulado iCab1***.
Autor/es: Anaya Catalan, Jose Javier, Gerardo Lara Sanchez y Jesus Martinez Roca
Tipo de memoria: **Trabajo dirigido**.
Año: 2008

2. Título: ***Detección y clasificación de obstáculos en entornos variantes mediante radar laser***
Autor/es: Garcia Fernandez, Fernando
Tipo de memoria: **Tesis de máster.**
Año: 2009
3. Título: ***iCab. Automatización de un vehículo eléctrico. Diseño Hardware***
Autor/es: Gines Portalatin, Pedro
Tipo de memoria: **Tesis de máster.**
Año: 2009
4. Título: ***iCab. Automatización de un vehículo eléctrico. Mecánica y software***
Autor/es: Hidalgo Fiestas, Juan Manuel
Tipo de memoria: **Tesis de máster.**
Año: 2009
5. Título: ***Control de la plataforma de vehículo eléctrico EZGO***
Autor/es: Gines Portalatin, Pedro y Juan Manuel Hidalgo Fiestas
Tipo de memoria: **Proyecto fin de máster**
Año: 2008
6. Título: ***Conversor A/D empleando modulación PWM y un circuito de decodificación mediante FPGA***
Autor/es: Martin Ruiz, Manuel.
Tipo de memoria: **Proyecto fin de carrera.**
Año: 2008

Anexo A:



Presupuesto.

Anexo A: Presupuesto

El **presupuesto** se va a desglosar en **dos tipos de gastos**:

- **Gasto en personal.**
- **Gasto en materiales.**

1. Personal

El coste de personal es un cálculo aproximado asociado a la mano de obra y recursos humanos necesarios para la implementación y diseño del proyecto. El coste horario está en función del sueldo neto, es decir, con las reducciones del I.R.P.F., seguridad social, etc.

TAREA	ENCARGADO	COSTE HORARIO	NÚMERO DE HORAS	COSTE TOTAL
Estudio previo y diseño del modelo	Ingeniero	26 [€/h]	180 [h]	4.680 [€]
Diseño del circuito, integración y programación	Ingeniero	26 [€/h]	280 [h]	7.280 [€]
Preparación del documento técnico	Administrativo	16 [€/h]	80 [h]	1.280 [€]
TOTAL COSTE PERSONAL				13.240 [€]

2. Materiales

Se puede observar el presupuesto reducido a continuación:

DESCRIPCION	PRECIO	IVA ¹⁹	CANTIDAD	PRECIO FINAL
Vehículo	2300,00 [€]	1	1	2300,00 [€]
Motor	672,00 [€]	1,16	1	779,52 [€]
Encoder	713,00 [€]	1,16	1	827,08 [€]
Disipador 200X200X25 [mm]	47,65 [€]	1	1	47,65 [€]
Guías extensibles de 150 [mm]	39,72 [€]	1	2	79,44 [€]
Accesorios ventilador	3,29 [€]	1	12	39,48 [€]
Ventilador 40 [mm] a 24 [V]	5,78 [€]	1	4	23,12 [€]
Transistor de potencia	1,81 [€]	1	30	54,30 [€]

¹⁹ La columna IVA hace referencia en tanto por uno a aquellos productos que en el precio de factura no venia reflejado el IVA. Por ello en todos los elementos que aparecen con un 1 (en tanto por 1) es porque el precio viene directamente con el IVA incluido.

Diodos varios	0,67 [€]	1	3	2,01 [€]
Controlador puente en H	3,82 [€]	1	5	19,10 [€]
Lógica de control	0,40 [€]	1	2	0,80 [€]
Condensadores alimentación	9,87 [€]	1	6	59,22 [€]
Condensadores varios	0,20 [€]	1	24	4,80 [€]
Conectores varios	6,07 [€]	1	3	18,21 [€]
Resistencias	0,25 [€]	1	39	9,75 [€]
Mecánica : montaje	180,00 [€]	1	1	180,00 [€]
Fabricación módulo de control	30,00 [€]	1	3	90,00 [€]
Fabricación módulo de potencia	30,00 [€]	1	3	90,00 [€]
Adaptador de RS232(2) a USB	130 [€]	1	1	130 [€]
				4.755 [€]
				TOTAL (con IVA)

3. Coste total del proyecto

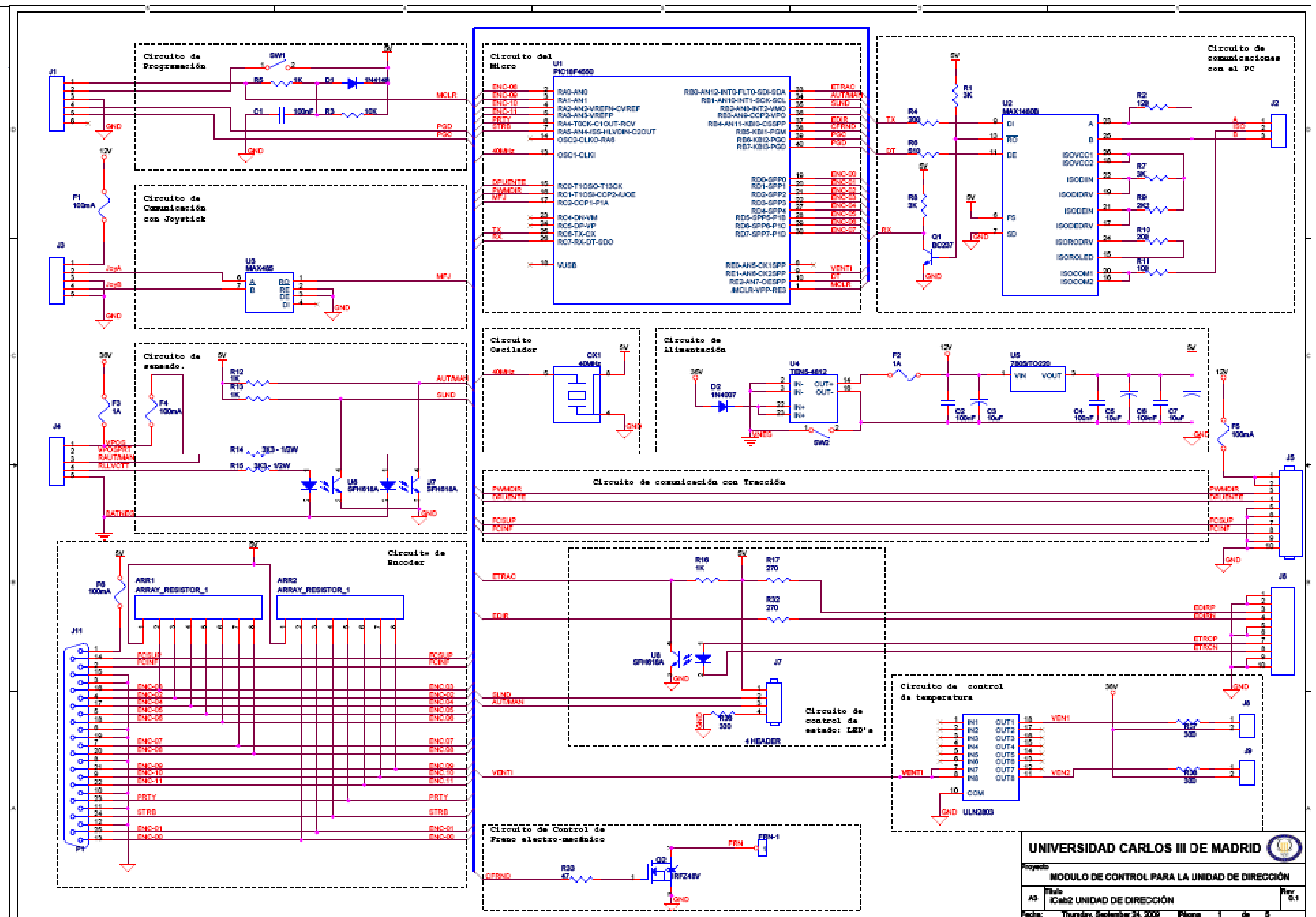
El coste total del proyecto será la suma los costes calculados en los anteriores apartados.

TIPO DE COSTE	CANTIDAD
TOTAL COSTE MATERIAL	4.755 [€]
TOTAL COSTE PERSONAL	13.240 [€]
COSTE TOTAL	17.995 [€]

Anexo B:



Esquemático del Módulo de Control.

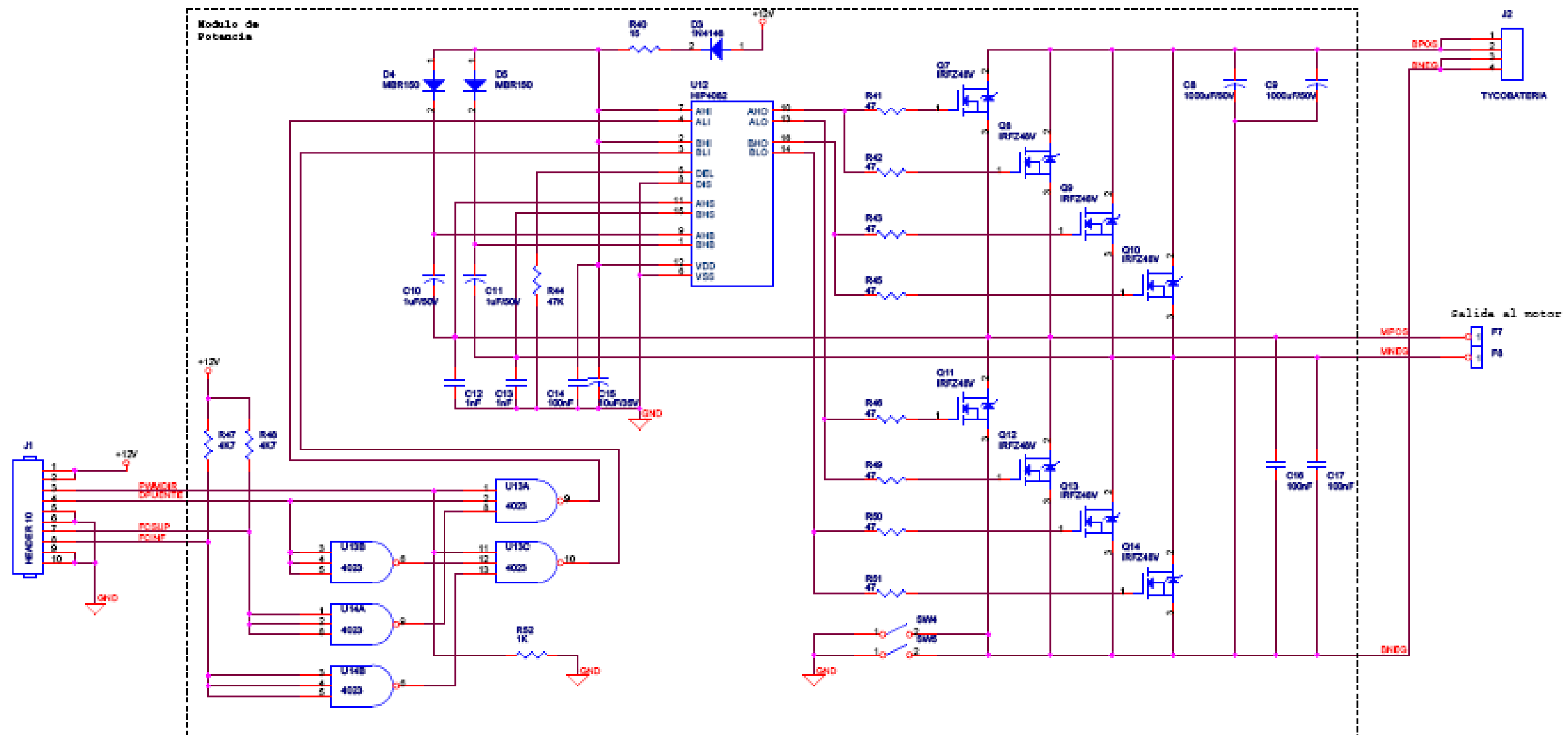


Anexo C:



Esquemático del Módulo de Potencia.

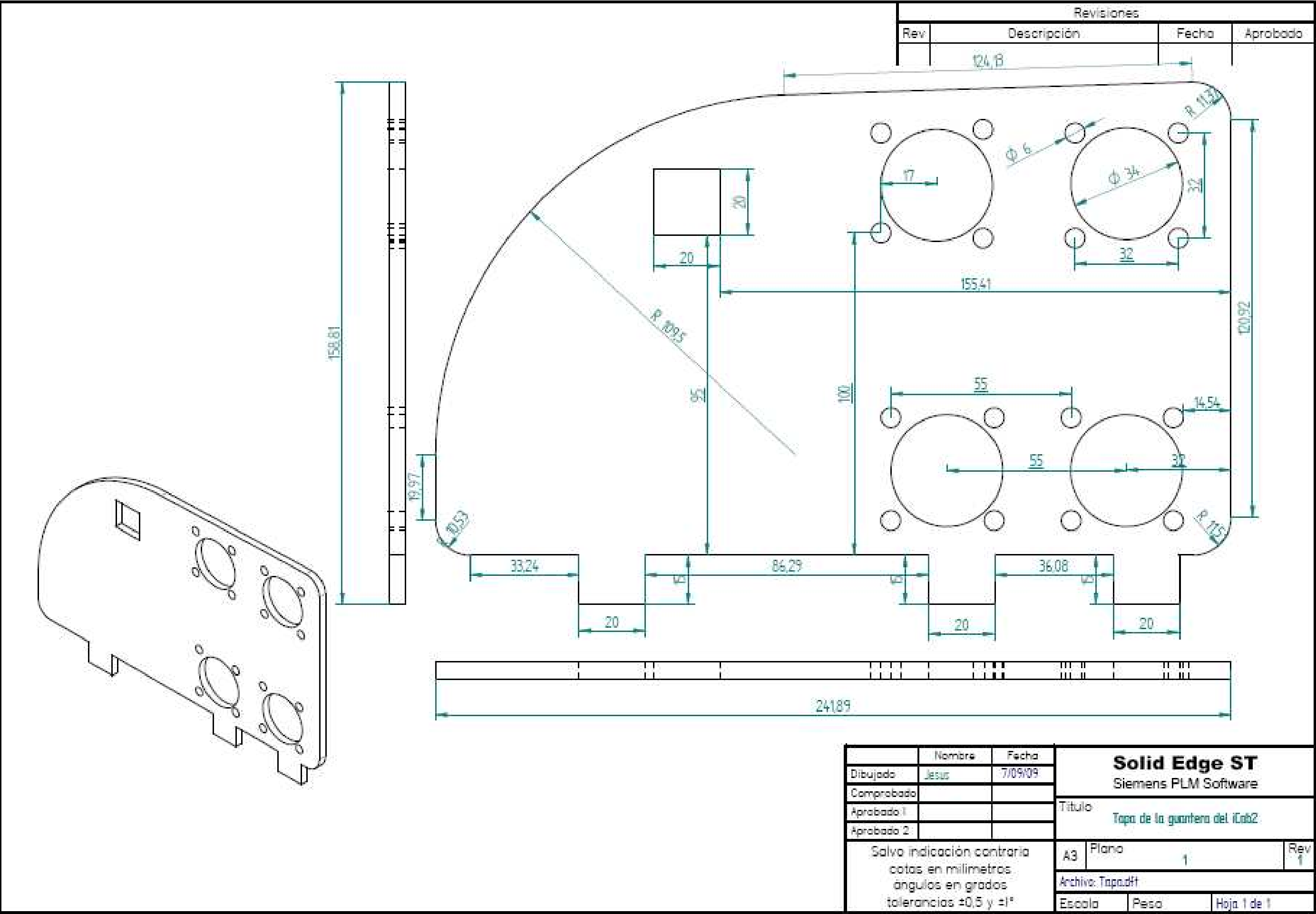
Anexo C: Esquemático del Módulo de Potencia.



Anexo D:



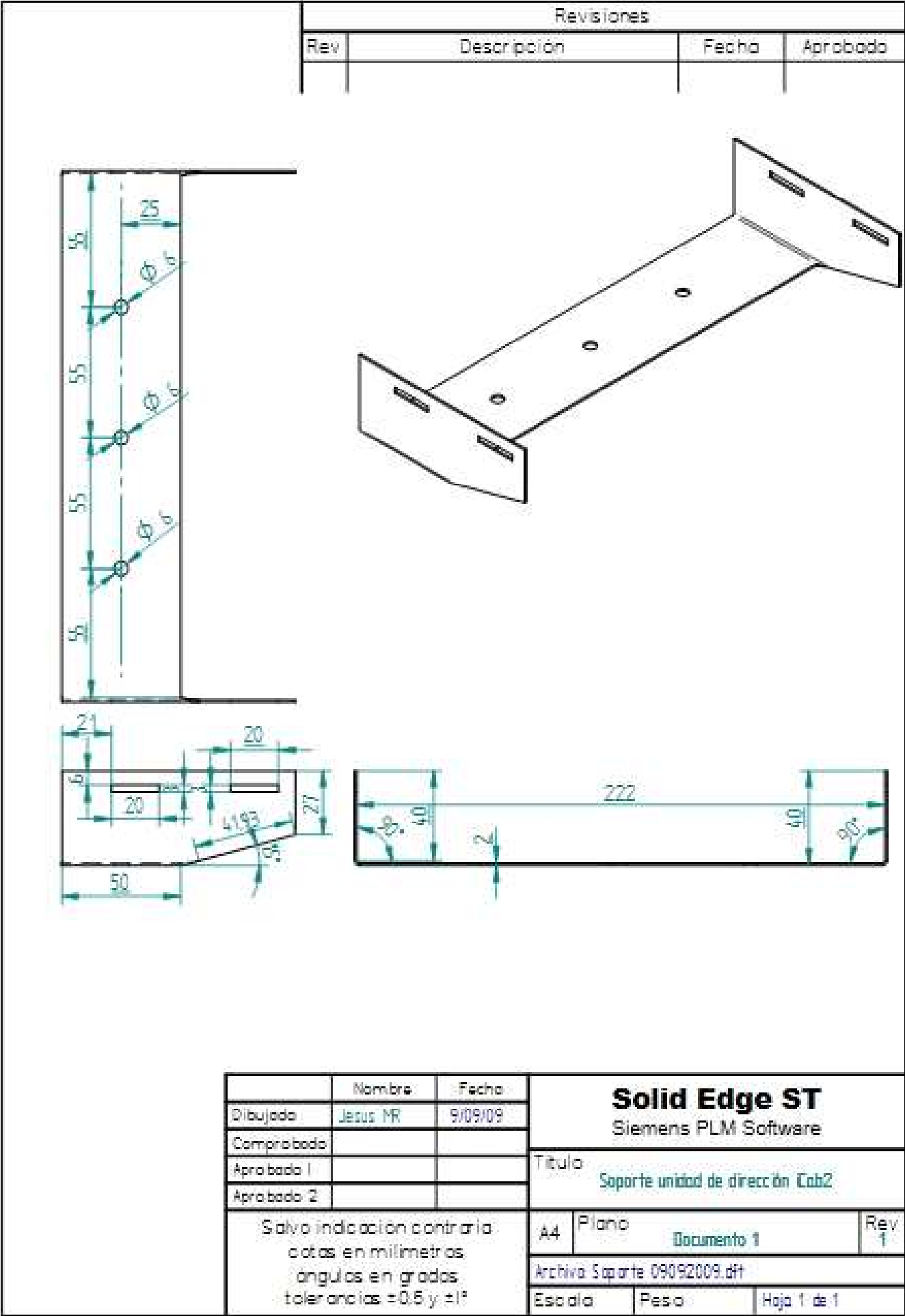
Plano de la tapa de la Guanterera.



Anexo E:



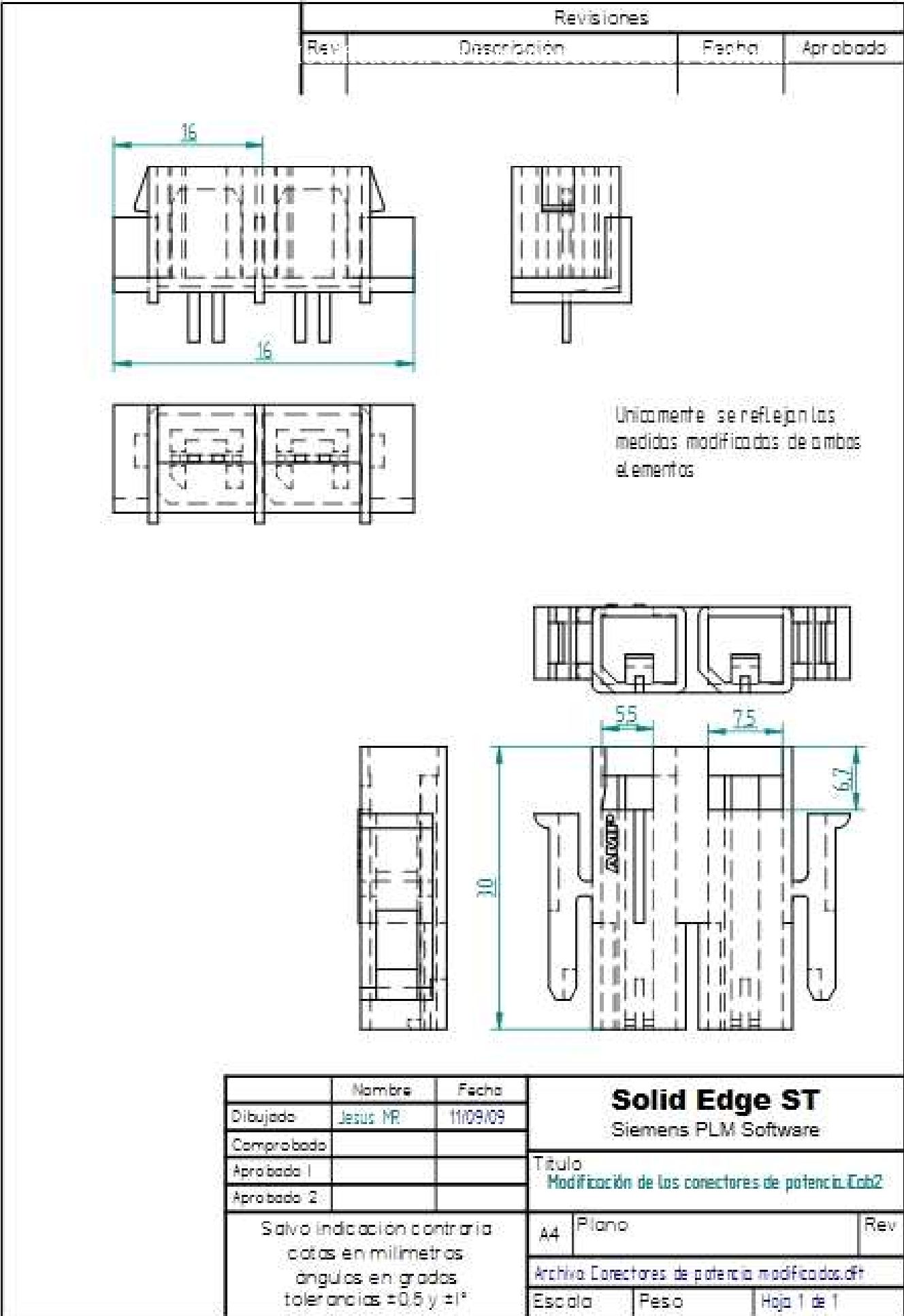
Plano del Soporte de la Unidad de Dirección.



Anexo F:



Plano de Modificación de los Conectores de Potencia.



Anexo G:



Mecanizado y Roscado del disipador.

Technical drawing of a heat sink assembly, showing front, top, and side views with dimensions and annotations.

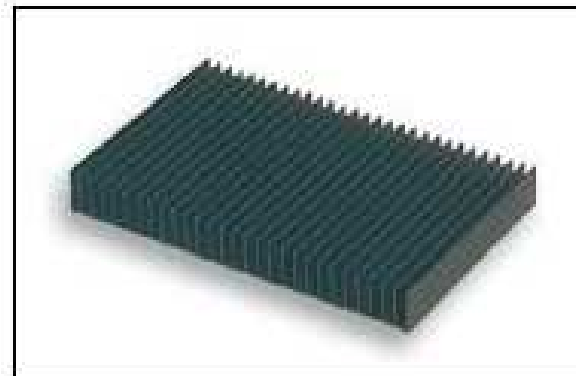
Front View (Left): Shows a vertical profile with a total height of 150 mm. The mounting flange has a height of 92 mm and a width of 15 mm. The base has a height of 50 mm. Two mounting holes are shown with a diameter of $\varnothing 4$.

Top View (Center): Shows a rectangular base with a width of 200 mm and a length of 95 mm. The mounting flange is 7 mm thick. A note indicates: "Todos los tornillos de esta cara tienen rosca M3" (All screws on this face have M3 thread). Another note points to the base: "Roscar tornillos en cara plana" (Screw screws on flat face).

Side View (Right): Shows the profile of the heat sink fins. The total height is 150 mm, with a base height of 50 mm and a fin height of 92 mm. The mounting flange has a width of 10 mm. The fin thickness is 15 mm. The mounting holes are $\varnothing 4$.

Annotations:

- "Corte de 50 (mm) del dissipador de 200x200 a 200x150" (Cut of 50 (mm) of the dissipator from 200x200 to 200x150)
- "Todos los tornillos de esta cara tienen rosca M3" (All screws on this face have M3 thread)
- "Roscar tornillos en cara plana" (Screw screws on flat face)

Foglio 144

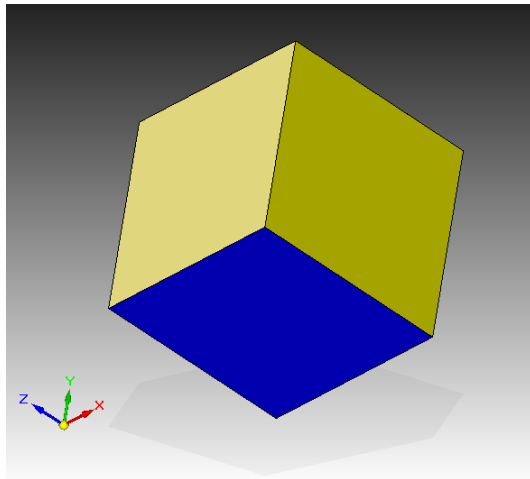
Anexo H:



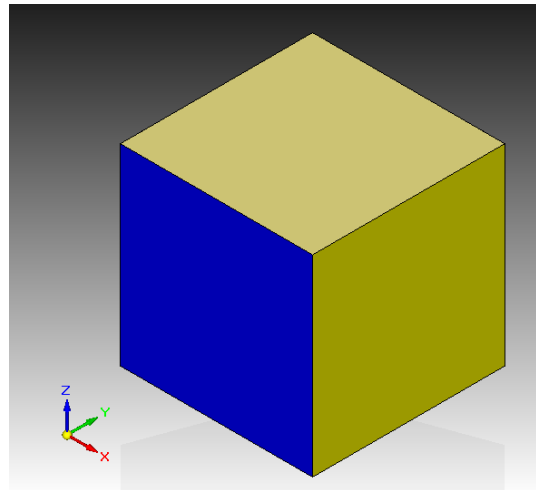
Sistemas de Referencia. Vistas de Representación.

Anexo H: Sistemas de Referencia. Vistas de Representación.

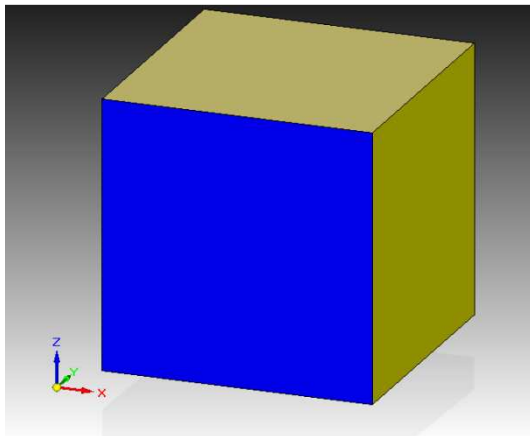
Si se dispone del sistema de referencia y del cubo, con las caras de colores, para poder apreciar las diferencias entre las vistas.



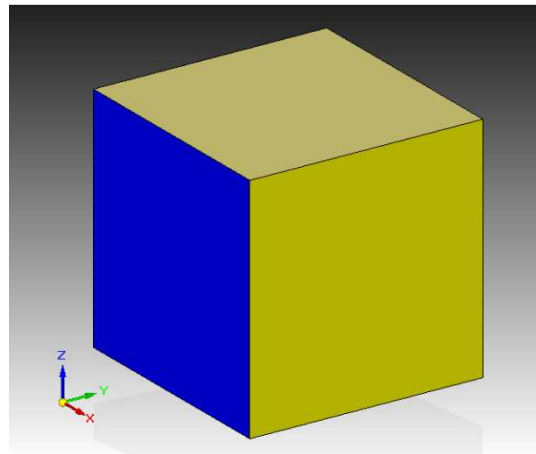
Cubo para interpretar las vistas



Vista ISO



Vista dimétrica



Vista trimétrica

Anexo I:



Mantenimiento.

Anexo I: Mantenimiento.

Se va a desglosar el procedimiento de mantenimiento que ha surgido de la práctica para resolver errores de la plataforma iCab1.

Este procedimiento hace referencia a la problemática que se ha comprobado y, por tanto, es posible que algún estado de error no esté contemplado en este manual si no se ha presentado, es por ello que se deja como guía orientativa para aquella persona que realice el manteniendo de las plataformas iCab siempre dejando bajo su consideración cualquier otra forma de actuación.

